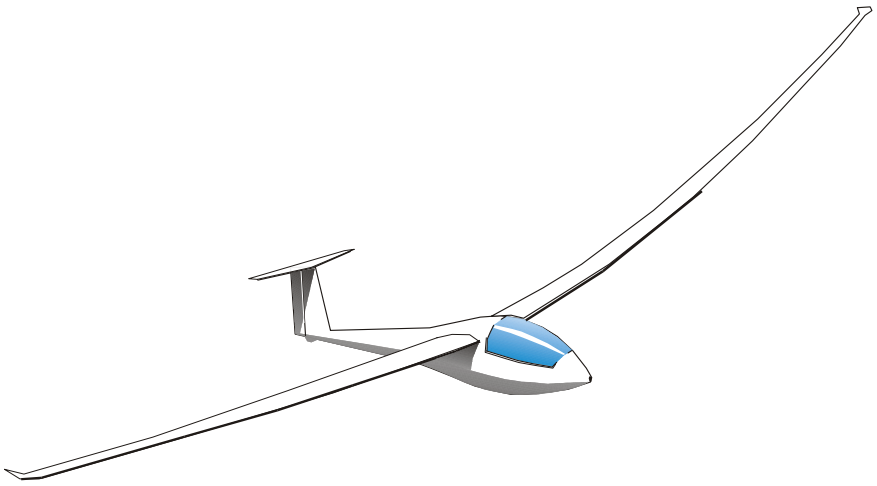
AEROCLUBUL ROMANIEI



MANUALUL

PILOTULUI PLANORIST

DUMITRU POPOVICI

EDITIA FEBRUARIE 2003

AUTOR: *Dumitru POPOVICI*

AU COLABORAT:
Cap. I CUNOAŞTEREA PLANORULUI
Cap. II METEOROLOGIE AERONAUTICĂ
Cap. III NAVIGAȚIE AERIANĂ — *Constantin POPESCU*
Cap. IV AERODINAMICA — *Mugurel Conta IONESCU*
Cap. V APARATE DE BORD
Cap. VI PERFORMANȚE ŞI LIMITE UMANE — *George STREJEA*, *Ion MIHĂILĂ*
Cap. VII TEHNICA PILOTAJULUI

TEHNOREDACTARE ŞI GRAFICĂ COMPUTERIZATĂ: Dorina Gheorghiu, *Dumitru POPOVICI*

CORECTURA: *Adina POPOVICI*

Copierea prezentului manual este interzisa fara acordul autorului.

CUVÂNTUL AUTORULUI

Acest manual este destinat celor ce doresc să devină piloți planorişti, dar şi tuturor celor interesați să dobândească noțiuni elmentare despre acest sport.

Conceput în şapte capitole, manualul prezintă de la simplu la complex cunoştințele teoretice necesare celor interesați să obțină brevetul de pilot planorist. În acest sens, ordinea şi structura capitolelor tratate respectă cu strictețe tematica impusă de Metodica de pregătire teoretică a elevilor piloți şi a piloților palnoeişti, metodică avizată de Autoritatea aeronautică.

Urmare a prezentului manual, autorul îşi propune să prezinte un chestionar de verificare a cunoştințelor, ale cărui întrebări vor constitui probele de examinare teoretică pe tot parcursul pregătirii piloților planorişti.

De asemenea, având în atenție pregătirea piloților planorişti avansați, autorul are în lucru un al doilea manual, în care îşi propune prezentarea şi analizarea teoriilor şi tacticilor zborului de performanță şi înaltă performanță, utile pilotului în concurs.

Pe această cale autorul mulțumeşte tuturor colegilor care l-au sprijinit efectiv în redactarea prezentei lucrări.

pil. instr. Dumitru Popovici

CUPRINS

CAPITOLUL I CUNOAŞTEREA PLANORULUI 11

1. Generalități 11
2. Părțile componente ale unui planor 11
3. Elementele caracteristice ale unui planor 12
4. Aripa 13
4.1. Caracteristicile geometrice ale aripii 14
5. Fuselajul 15
6. Ampenajele 15
7. Materiale folosite în construcția planoarelor 16
8. Sisteme de lansare la zbor 18
9. Automosorul de tip AL 34 19
10. Planorul IS 28 B 2 19
11. Descrierea cabinei planorului IS 28 B 2 21
12. Planorul IS 29 D 2 22
13. Caracteristicile geometrice ale planoarelor IS 28 B 2 şi IS 29 D 2 24
14. Caracterisiticile în zbor ale planoarelor IS 28 B 2 şi IS 29 D 2 25
15. Marcarea vitezometrului la planoarele IS 28 B 2 şi IS 29 D 2 26
16. Planorul IS 32 A 26
17. Caracteristici geometrice ale planorului IS 32 A 27
18. Caracteristici în zbor ale planorului IS 32 A 28
19. Norme de întreținere a planoarelor 29

CAPITOLUL II METEOROLOGIE 30

1. Generalități 30
2. Atmosfera 30
3. Înălțimea atmosferei 30
4. Zonele atmosferei 31
5. Factorii atmosferici 32
6. Temperatura aerului 33
6.1. Propagarea căldurii 33
6.2. Încălzirea atmosferei 33
6.3. Măsurarea temperaturii 34
6.4. Variațiile temperaturii aerului 35
6.5. Gradientul termic 35
6.6. Inversiune, izotermie 35
7. Umezeala aerului 36
7.1. Măsurarea umezelii 36
7.2. Relații între temperatură şi umezeală 37

7.3.	Variația umezelii	38
8.	Presiunea atmosferică	38
8.1.	Variațiile presiunii atmosferice	39
8.2.	Vântul	40
8.3.	Mărimile ce definesc vântul	40
8.4.	Izobarele	41
8.5.	Ciclonul	41
8.6.	Anticiclonul	42
8.7.	Diferența de direcție şi de intensitate a vântului la sol şi în altitudine	42
8.8.	Tipuri de vânt	43
8.9.	Circulația generală a aerului	47
9.	Norii	47
9.1.	Clasificarea norilor	47
9.2.	Descrierea genurilor de nori	48
9.3.	Nebulozitatea şi plafonul	51
10.	Precipitațiile atmosferice	51
11.	Stările de echilibru ale atmosferei	51
12.	Curenți verticali	53
12.1.	Condițiile de formare a ascendențelor	54
12.2.	Norii de formație verticală	55
13.	Fronturile meteo	55
13.1.	Frontul cald	55
13.2.	Frontul rece	56
13.3.	Frontul oclus	57
14	Informarea meteorologică	58
14.1.	Mesajul metar	59

CAPITOLUL III NAVIGAȚIE AERIANĂ 61

1.	Generalitați	61
1.1.	Globul pământesc	61
2.	Notiuni geografice	62
2.1.	Coordonate geografice şi coordonate aeriene	63
2.2.	Baza masurării timpului	64
2.3.	Exprimarea longitudinii în unități de timp	65
2.4.	Fusele orare	65
3.	Linii de poziție a aeronavei	66
3.1.	Loxodrom2a	66
3.2.	Ortodroma	66
4.	Proiecții cartografice	67
4.1.	Elementele unei proiecții	67
4.2.	Clasificarea proiecțiilor cartografice	68

4.3.	Proiecția conică normală	68
4.4.	Proiecția cilindrică centrală normală	69
4.5.	Proiecția mercator	69
4.6.	Proiecția cilindrică transversală gauss	70
4.7.	Proiecția stereografică polară	71
5.	Harta	71
5.1.	Harțile aeronautice	72
6.	Magnetismul terestru	74
7.	Elemente de navigație aeriană	75
7.1.	Drumurile aeronavei	76
7.2.	Capurile aeronavei	76
7.3.	Relevmentul drumuri-capuri: relații de calcul	77
7.4.	Unghiul de derivă	78
7.5.	Relațiile de calcul între drumuri şi capuri	79
7.6.	Acțiunea vântului asupra vitezei la sol	79
7.7.	Triunghiul de navigație al vitezelor	79
8.	Probleme de altimetry	82
8.1.	Calajul altimetric	83
9.	Lucrul cu harta	84
10.	Calcule mintale	85

CAPITOLUL IV AERODINAMICA 86

1.	Generalitați	86
2.	Aerul si calitațile sale	86
3.	Tunelul aerodynamic	88
4.	Ecuatia continuitații	89
5.	Legea lui Bernuolli	90
6.	Rezistenta la inaintare	92
7.	Forța totală aerodinamică, portanța, şi rezistența la înaintare	94
8.	Profilul de aripă	96
8.1.	Tipuri de profile	96
8.2.	Unghiul de incidență	97
9.	Aripa	97
9.1.	Clasificarea aripilor după forma în plan	97
9.2.	Caracteristicile geometrice ale aripii	98
9.3.	Unghiurile aripii	99
10.	Repartiția presiunilor pe profil	100
10.1.	Forțe şi momente	101
10.2.	Centrul de presiune şi variația sa	102
11.	Rezistența indusă	103
11.1.	Procedee de reducere a rezistentei induse	104
12.	Diagrama polară	106

12.1.	Polara planorului	108
12.2.	Variația coeficienților aerodinamici	110
13.	Repartiția portanței in profunzime şi anvergură	113
14.	Dispozitive de hipersustentație	113
15.	Frânele aerodinamice	115
16.	Forțele care acționeaza asupra planorului în zbor planat	116
17.	Forțele care acționeaza asupra planorului în viraj	118
18.	Forțele care acționeaza asupra planorului în remorcaj de avion	121
19.	Forțele care acționeaza asupra planorului în remorcaj de automosor	122
20.	Stabilitatea planorului	123
20.1.	Echilibrul corpurilor	123
20.2.	Stabilitatea planorului	125
21.	Maniabilitatea planorului	129
22.	Centrajul planorului	130
23.	Compensarea comenzilor	131
24.	Factorul de sarcina	132
25.	Momentul negative	133
26.	Polara vitezelor	134
27.	Influența vântului şi a curenților verticali asupra vitezei de salt	136
28.	Efectul de sol	136
29.	Zborul la incidențe mari	138
29.1.	Măsuri şi manevre pentru evitarea depăşirii incidenței critice	140
30.	Stratul limită	140
30.1.	Desprinderea stratului limită	142
30.2.	Influența tipului aripii asupra desprinderii stratului limită	144

CAPITOLUL V INSTRUMENTE DE BORD 148

1.	Importanța instrumentelor de bord	148
2.	Clasificarea instrumentelor de bord	148
3.	Capsule, tuburi, membrane	149
4.	Altimetrul	151
4.1.	Calajul altimetric	152
5.	Vitezometrul	153
6.	Variometrul	154
6.1.	Variometrul cu capsulă	154
6.2.	Variometrul cu paletă	155
6.3.	Variometrul cu bile	156
6.4.	Variometrul electric	157
6.5.	Variometrul cu lichid	157
6.6.	Variometrul de energie totală (vet)	158
6.7.	Vet cu priză de depresiune (tub braunschweich)	160

7. Indicatorul de viraj şi glisadă 162
7.1. Indicatorul de viraj 162
7.2. Indicatorul de glisadă 163
8. Compasul de aviație 164
9. Barograful 166
10. Schema de legatură a instrumentelor de bord 168

CAPITOLUL VI PERFORMANȚA UMANĂ ŞI LIMITELE SALE 169

Introducere 169
1. Factorii umani 169
1.1. Factorii umani în aviație 169
1.2. Factorii fizici principali care acționează asupra omului în timpul zborului 170
1.3. Competența şi limitări 172
1.4. Formarea pilotului competent 172
1.5. Statistici de accidente 173
1.6. Concepte de siguranța a zborului 173
2. Fiziologia aeronautică de bază şi întreținerea sănătății 173
2.1. Bazele fiziologiei zborului 173
2.2. Sistemul respirator şi circulator 174
3. Omul şi mediul: sistemul senzorial 176
4. Sănătate şi igienă 179
5. Psihologia aeronautică – noțiuni de bază 180
5.1. Prelucrarea umană a informațiilor 180
6. Influenta factorilor fizici asupra organismului în timpul zborului 184
6.1. Boala de inalțime 185
6.2. Răul de zbor 186
6.3. Barotrauma urechilor 186
6.4. Barotrauma cavității nazale secundare 188
6.5. Nevralgia dentară 188
6.6. Flatuozitatea de înălțime 188
6.7. Influența negativă a radiațiilor solare intense asupra organismului 189
6.8. Influența radiațiilor ionizante 189
6.9. Influența temperaturii 189
6.10. Influența umidității, a vântului şi a forțelor mecanice din timpul zborului 190
6.11. Influența spargerii plafonului de nori 190
6.12. Influența accelerației maxime. 191
6.13. Influența vibrațiilor 192
7. Protecția sănătății echipajului 192
7.1. Controlul medical a aerodrom 193
7.2. Controlul medical înainte de zbor 193
7.3. Examenele medicale periodice 193
8. Primul ajutor 193

8.1. Algiile 194
8.2. Senzația de sufocare 194
8.3. Leşinul 195
8.4. Contraindicațiile zborului din punct de vedere medical 195

CAPITOLUL VII TEHNICA PILOTAJULUI 197

1. Manevrarea planoarelor 197
2. Controlul planorului 198
3. Şcoala carlingii 199
4. Balanasarea 199
5. Aclimatizarea 200
6. Efectul comenzilor 200
7. Linia dreaptă 203
7.1. Devierea şi revenirea pe reper 206
8. Virajul 207
8.1. Efectul acționării separate şi coordonate a manşei şi palonierului in viraj 209
8.2. Virajele de 90^0,180^0 si 360^0 211
8.3. Virajul glisat şi virajul derapat 211
9. Decolarea şi luarea înalțimii in remorcaj de automosor 212
9.1. Decolarea cu vânt lateral 214
10. Cazuri speciale în remorcaj de automosor 215
11. Decolarea şi remorcajul de avion 216
12. Cazuri speciale in remorcajul de avion 222
13. Apropierea finală şi aterizarea 222
13.1. Apropierea cu vânt lateral 223
13.2. Aterizarea 223
13.3. Aterizarea cu vânt lateral 227
14. Turul de pistă 227
a) turul de pista alcătuit din 4 viraje de 90^0
b) turul de pista alcătuit din 2 viraje de 180^0
c) turul de pista alcătuit din 2 viraje de 90^0 si unul de 180^0
d) turul de pistă alcătuit dintr-un viraj de 180^0 si 2 viraje de 90^0
14.1. Influența vântului la executarea turului de pista 232
14.2. Executarea virajelor de 360^o în turul de pista 234
14.3. Executarea turului de pistă cu *s* alungit 234
15. Lucrul în zona 235
16. Tur de pista din remorcaj de avion 235
17. Executarea zborului în simpla comandă 235
18. Particularități privind tehnica pilotajului la planorul IS 28 B 2 236
19. Particularități privind tehnica pilotajului la planorul IS 29 D 2 239
20. Particularități privind tehnica pilotajului la planorul IS 32 A 242

CAPITOLUL I
CUNOAŞTEREA PLANORULUI

1. Generalităţi

Înainte de a studia fenomenele care iau nastere în timpul zborului, trebuiesc studiate părţile componente ale unui planor, precum şi modul cum se manevrează acesta.

Planorul este aparatul de zbor mai greu decât aerul, neechipat cu un grup motopropulsor şi care prin lansare la o anumită înălţime va zbura cu o continuă pantă de coborâre.

Tracţiunea necesară este asigurată de o componentă a greutăţii proprii.

2. Părţile componente ale unui planor

Părţile componente ale unui planor sunt următoarele:

a. aripa planorului;
b. fuselajul planorului;
c. ampenajele planorului;

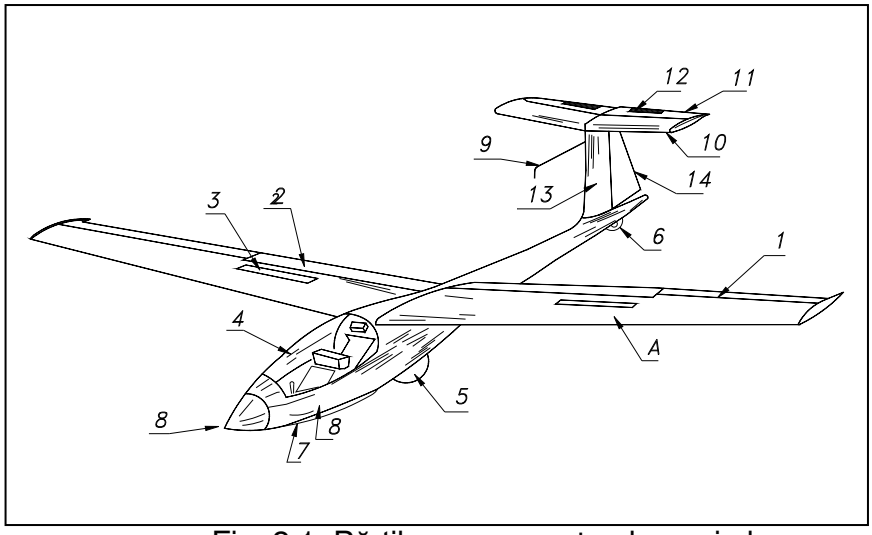


Fig. 2.1. Părţile componente ale unui planor

a. *Aripa* planorului este partea principală a acestuia şi are rolul de a crea forţa portantă necesară executării zborului.

Pe aripă sunt montate:

- *eleroanele* (1) care sunt suprafeţe de comandă şi au rolul de a menţine planorul la orizontală sau ajută la executarea virajelor. Sunt acţionate de manşă la comanda laterală;
- *flapsul* (2) se constituie într-un dispozitiv de hipersustentaţie şi are rolul de a mări forţa portantă în situaţii speciale de zbor (la decolare şi aterizare);

- *frâna aerodinamică* (3) este o suprafață care se scoate din planul aripii şi are rolul de distrugător de portanță, lucru necesar a fi executat în vederea aterizării pe terenuri scurte.

b. *Fuselajul* planorului este partea principală a planorului cu rolul de a fixa rigid aripile şi ampenajele.

În fuselaj se găseşte amplasată *carlinga* (4) care constituie postul de pilotaj. Tot în fuselaj se găseşte amplasat şi *trenul de aterizare*, format din următoarele părți:
- roata (5);
- bechia (6);
- patina (la unele planoare) (7).

Trenul de aterizare este dispozitivul care serveşte la deplasarea planorului pe sol.
Trenul de aterizare poate fi format din:
- roată şi bechie;
- patină şi bechie;
- roată, patină şi bechie.

Roata este elementul principal al trenului de aterizare, montată în zona centrului de greutate şi care are rolul de a susține întreaga greutate a planorului.

Bechia poate fi fixă sau poate fi o roată mai mică decât roata principală şi este montată la partea din spate a planorului constituind al doilea punct de sprijin al acestuia pe sol.

Patina este un dispozitiv de ranforsare (întărire) a fuselajului în zona posturilor de pilotaj şi are rolul de a proteja planorul (pilotul) în cazul unor eventuale contacte mai dure cu solul.

Tot pe fuselaj se găseşte amplasat şi tubul *Pittot* sau prizele de presiune (statică şi totală). La unele planoare se mai găseşte şi tubul *Braunschweich.*

c. *Ampenajele* sunt formate din:
- *ampenajul orizontal,* alcătuit din *stabilizator* (partea fixă) şi *profundor* (partea mobilă), care servesc la menținerea pantei de zbor a planorului.

Profundorul este acționat tot de mansă, prin mişcarea acesteia înainte sau înapoi.

Pe profundor se găseşte, la unele tipuri de planoare, suprafața de compensare a eforturilor, numită compensator sau trimer.
- *ampenajul vertical* este alcătuit dintr-o parte fixă numită *derivă* şi o parte mobilă numită *direcție.* Direcția este o suprafață de comandă care este acționată de *paloniere*. Astfel dacă se dă palonier stânga şi direcția se va roti spre stânga, fapt care va duce la rotirea botului planorului spre stânga.

3. Elementele caracteristice ale unui planor

Elementele caracteristice ale unui planor sunt :
- *anvergura* reprezentând lungimea aripii (distanța dintre cele 2 extremități ale aripilor);
- *suprafața portantă* reprezentând suprafața obținută prin proiecția aripii pe o suprafața plană;
- *înălțimea planorului* (care se măsoară pe sol) şi reprezintă distanța dintre sol şi cel mai înalt punct al planorului;
- *înălțimea fuselajului* (care se masoară pe sol) şi reprezintă distanța dintre sol şi cel mai înalt punct al fuselajului;
- *grosimea* (lățimea fuselajului) reprezintă cea mai mare distanță (masurată pe orizontală) a fuselajului;
- *greutatea planorului* care conține şi greutatea pilotului şi a echipamentului necesar zborului (paraşuta, bagaje,etc.).

4. Aripa

Aripa este elementul care produce forța necesară susținerii planorului în zbor şi preia toate eforturile care apar asupra planorului în timpul evoluțiilor. Din acest motiv, constructorii acordă o deosebită atenție construcției aripilor, în vederea obținerii planoarelor de performanță.

Din punct de vedere al modului de montare al aripilor pe fuselaj vom avea planoare cu aripa: *sus, mediană sau jos* (vezi fig. 4.2.).

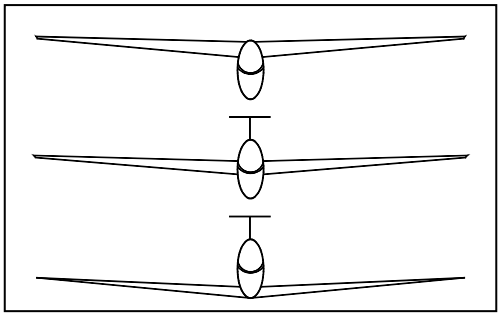


Fig. 4.2. Montarea aripii

După forma în plan, aripile pot fi:
a. dreptunghiulare;
b. dreptunghiulare cu colțuri rotunjite;
c. trapezoidale;
d. trapezoidale cu colțuri rotunjite;
e. eliptice;
f. în sageată;
g. dublu trapezoidale (vezi Fig. 4.3.)

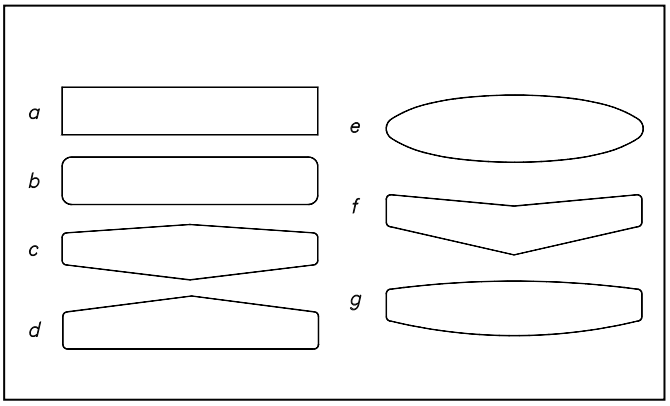


Fig. 4.3. Forma în plan a aripii

4.1. Caracteristicile geometrice ale aripii

- *anvergura aripii* (A) reprezintă lungimea ei de la un capăt la altul;

- *profunzimea aripii* (L) reprezintă lățimea aripii (vom avea profunzimea aripii la capăt (C_c), profunzimea aripii în axul fuselajului (C_i) şi profunzimea medie care reprezintă media aritmetică a celorlalte două);
- *suprafața portantă a aripii* reprezintă suprafața proiecției plane, orizontale a acesteia;
- *alungirea aripii* reprezintă raportul dintre anvergura aripii şi profunzimea medie (***C**oarda **M**edie **A**erodinamică-CMA*) (vezi fig. 4.4.).

- *alungirea aripii* reprezintă raportul dintre anvergura aripii şi profunzimea medie (***C**oarda **M**edie **A**erodinamică-CMA*) (vezi fig. 4.4.).

Urmărind o secțiune prin aripă vom putea defini următoarele elemente:
- *bordul de atac* este partea din față a aripii care în timpul zborului loveşte fileurile de aer;
- *bordul de fugă sau scurgere* este partea din spate a aripii;
- *extradosul* este partea de deasupra aripii;
- *intradosul* este partea de dedesubt a aripii (vezi fig. 4.5.).

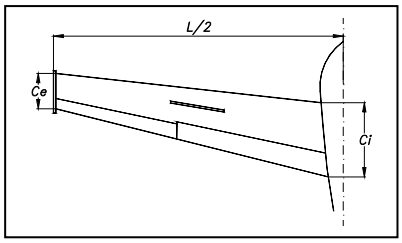


Fig. 4.4. Caracteristicile geometrice ale aripii

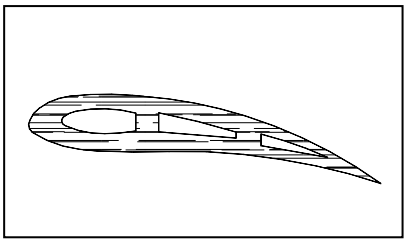


Fig. 4.5. Caracteristicile constructive ale aripii

Indiferent de materialele din care este construită o aripă, ea se va compune din următoarele părți principale:
- *lonjeroane* (unul principal şi eventual unul fals sau 2 principale, care constituie grinda de rezistență a aripii şi a întregului planor;
- *nervuri*, piese care se fixează pe lojeron şi dau forma aripii în spațiu;
- *învelişul* aripii care poate fi din placaj în zona bordului de atac şi împânzit în restul suprafeței. La planoarele din lemn învelişul mai poate fi executat din tablă de aluminiu, răşini sintetice cu fibră de sticlă sau fibră de carbon.

Pe aripă se găsesc montate eleroanele, voleții şi frânele aerodinamice

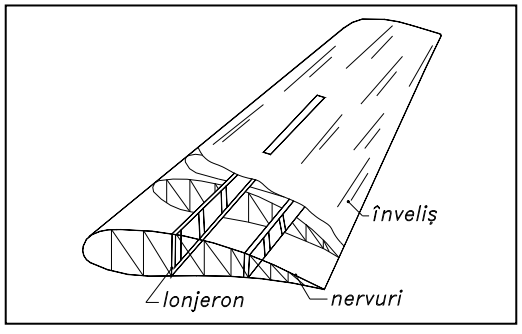


Fig. 4.6. constructia aripii

5. Fuselajul

Este partea centrală a planorului cu rol de a face legătura între aripi şi ampenaje (vezi fig. 5.7.). În fuselaj se găseşte carlinga cu postul (posturile) de pilotaj, trenul de aterizare, etc.

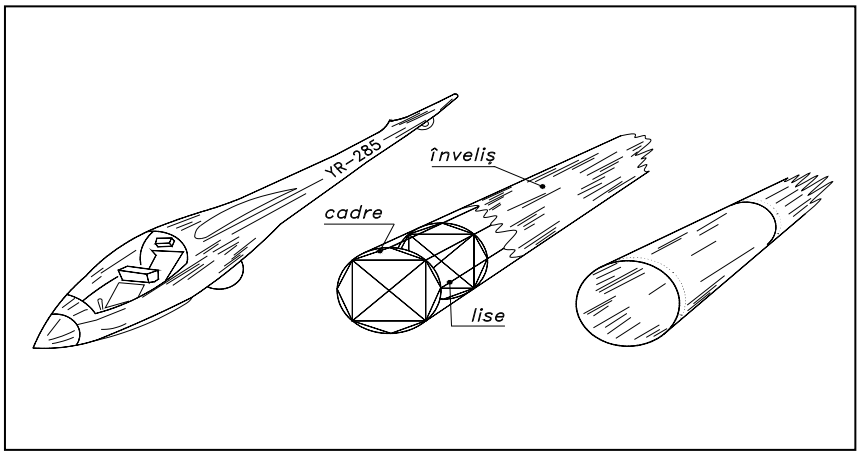


Fig. 5.7. Fuselajul

În funcție de tipul planorului vom avea posturi de pilotaj de simplă comandă (pentru un singur pilot) sau de dublă comandă (pentru 2 piloți).

În cazul planoarelor de dublă comandă aceste 2 posturi pot fi aşezate în *tandem* (unul în spatele celuilalt) sau *cot-a-cot* (în situația când posturile de pilotaj sunt asezate unul lângă altul).

La planoarele moderne trenul de aterizare este format dintr-o roată plasată sub postul de pilotaj, prevăzut cu frână pe tambur şi poate fi fix, escamotabil sau semiescamotabil şi o roată mai mică şi fixă în partea din spate a fuselajului.

Tot pe fuselaj sunt montate şi dispozitivele de declanşare de la avion sau automosor, dispozitive numite *declanşatoare.*

În interiorul carlingii, în afara postului de pilotaj se mai găseşte şi *planşa de bord* cu instrumentele de bord, pârghiile de comandă (*manşa şi palonierele*), cu ajutorul cărora se dau comenzile necesare acționării suprafețelor de comandă (eleron, flaps, direcție, frâna aerodinamică, suprafețe compensatoare).

6. Ampenajele

Ampenajele sunt părțile planorului care au rolul de a menține planorul în zbor stabil ca pantă şi ca direcție.

Ampenajele (vezi fig. 6.8.) sunt formate din:

a. ampenajul orizontal

b. ampenajul vertical.

a. *Ampenajul orizontal* este construit şi are caracterisitici asemănătoare cu cele ale aripii.

Acesta se caracterizează prin faptul că are o parte fixă numită *stabilizator* şi o alta mobilă, numită *profundor.*

Cu ajutorul profundorului se pot menține parametrii de zbor (panta şi viteza).

La unele planoare stabilizatorul şi profundorul fac corp comun fiind de fapt o singură parte care este denumită *profundor pendular*. Pe profundor se mai găseşte montată şi o suprafață numită *compensator*, fiind necesară pentru compensarea efortului pe manşă în profunzime.

Profundorul este acționat de comanda manşei spre înainte sau spre înapoi (spre pilot).

b. *Ampenajul vertical* este format din 2 părti: una fixă numită *derivă* şi una mobilă numită *direcție*, care este acționată la comanda palonierelor.

În funcție de cum sunt montate ampenajele orizontale față de cele verticale vom întâlni următoarele situații (vezi fig. 6.9.):
- ampenaje clasice;
- ampenaje în "T";
- ampenaje în "V".

2

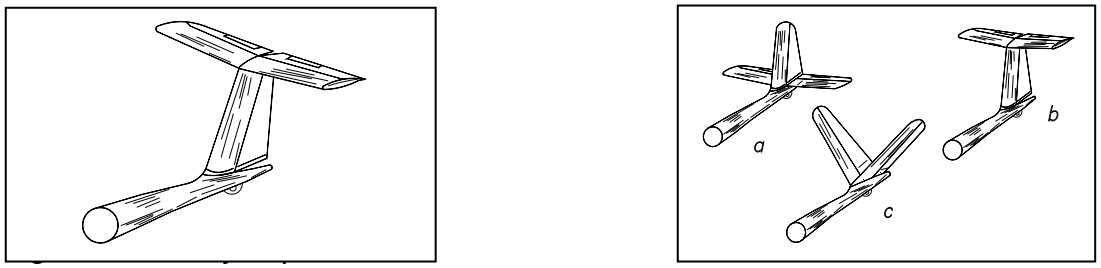


Fig. 6.9. Tipuri de ampenaje

7. Materiale folosite în construcția planoarelor

Înainte de a prezenta materialele folosite în construcția planoarelor trebuie să vedem la ce eforturi sunt supuse piesele care intră în componența unui planor.

Solicitările la care sunt supuse piesele sunt:
- *tracțiunea sau întinderea* (declanşatoarele, cablurile comenzilor, învelişul aripilor, etc);
- *compresiunea* (trenul de aterizare);
- *încovoierea* (lonjeroanele aripilor);
- *forfecarea* apare în zbor în timpul trecerii printr-o suprafață de separație dintre un curent ascendent şi a unuia descendent. Acest fenomen se petrece în mod special la zborul în norii de formație verticală;
- *torsiunea*; aripile în timpul zborului sunt supuse la eforturi de tensiune în jurul lonjeronului.

Pentru a putea îndeplini toate condițiile cerute, în construcțiile aeronautice se folosesc mai multe categorii de materiale. Acestea pot fi împărțite în:
- materiale principale ce intră în construcția pieselor de rezistență şi a pieselor ce dau forma aerodinamică a aeronavei.
- materiale secundare ce intră în construcția pieselor auxiliare ale unei aeronave.

Dintre materialele folosite în construcția aeronautică putem enumera:

a. *lemnul* folosit în construcțiile aeronautice datorită faptului că are greutate relativ mică, este ieftin, se prelucrează uşor, etc. Lemnul întrebuințat, trebuie să îndeplinească următoarele condiții:
- rezistența la tracțiune să fie de cel puțin 800 Kgf/cm^2;
- umiditatea să nu depăşească 15% din greutatea sa;

- rezistența la compresiune să fie de cel puțin 400 Kgf/cm^2;
- rezistența la încovoiere să fie de cel puțin 600 Kgf/cm^2.

În construcțiile aeronautice lemnul se foloseşte astfel:
pentru lonjeroane: frasin, molid, brad, pin;
pentru piese curbe: frasin, salcâm, ulm, stejar;
pentru elice: acaju, nuc, cireş, mesteacăn, fag.

b. *placajul* folosit în aviație este făcut din foi neperechi (3, 5, 7, 9, etc.) cu următoarele dimensiuni (grosimi):0,8; 1; 1,2; 1,5; 1,8; 2; 2,3; 2,5; 3; 3,5; 4; 5 mm.

Placajul folosit trebuie să îndeplinească următoarele condiții:
- rezistența la tracțiune în lungimea fibrei = 700 kgf/cm^2
- rezistența la tracțiune perpendicular pe fibră = 450 kgf/cm^2
- rezistența la forfecare în lungimea fibrei = 100 kgf/cm^2
- rezistența la forfecare perpendicular pe fibră = 750 kgf/cm^2
- rezistența la forfecare la 45^o = 150 kgf/cm^2

Placajul se foloseşte pentru îmbrăcarea aripilor, fuselajului, ampenajelor, în vederea obținerii formelor arodinamice.

c. *cleiurile* sunt întrebuințate pentru asamblarea diferitelor piese din lemn, palcaj, pânză. Ele trebuie să îndeplinească următoarele condiții:
- să fie uşor de manipulat;
- să fie uşor de preparat;
- să nu-şi schimbe caracteristicile în timp;
- să fie aderente;
- să fie rezistente la smulgere.

Cleiurile utilizate sunt: clei de gelatină, caseina, cleiurile pe bază de răşini sintetice (care sunt mai bune decât celelate cleiuri).

d. *oțelurile* folosite în construcțiile aeronautice sunt oțeluri speciale care prezintă caracteristici superioare. Oțelurile folosite pentru construcția pieselor de tracțiune, de prindere, bolțuri, tendoare, cabluri de comandă, scripeți, pârghii, etc. trebuie să prezinte o rezistență la tracțiune de 80-100 Kgf/mm^2.

e. *duraluminiul* se foloseşte foarte mult datorită faptului că este uşor (are aceeaşi greutate cu a aluminului) şi are o rezistență mecanică ridicată. Acesta se foloseşte la construcțiile de lonjeroane, nervuri şi a întregului înveliş la planoarele metalice.

f. *pânza* folosită în aviație este din bumbac mercerizat şi neapretat cu o desime de 28-35 de fire pe cm^2 atât în bătaie cât şi în urzeală şi o greutate de cel mult 200 g/m^2.

Rezistența la tracțiune a pânzei înmuiată în apă trebuie să fie de cel puțin 3000 Kg/m^2.

g. *materialele plastice* se folosesc pentru confeționarea carcaselor aparatelor de bord, tablouri de bord iar în ultimul timp pentru corectarea şi chiar confecționarea profilelor aerodinamice.

h. *plexiglasul* se foloseşte pentru confecționarea carlingilor datorită faptului că este transparent şi prin încălzire se modelează uşor.

i. *cauciucul* se foloseşte la trenul de aterizare pentru amortizarea contactului cu solul. Acesta se utilizează sub formă de camere şi anvelope, cilindri găuriți, discuri amortizoare, etc.

Cauciucul se mai foloseşte la garnituri de etanşare, ca amortizoare la fixarea tablourilor de bord, deoarece vibrațiile şi şocurile dereglează aparatele cu care sunt echipate aeronavele.

j. *fibra de sticlă* şi *fibra de carbon* se folosesc în ultimul timp în construcțiile aeronautice de performanță datorită faptului că permit obținerea suprafețelor aerodinamice foarte bine finisate, şi au caracteristici mecanice superioare.

k. protecția aeronavelor împotriva coroziunii şi a umidității se realizează cu ajutorul *lacurilor şi a vopselelor*, iar suprafețele metalice se protejează prin acoperire electrochimică, *cromare, zincare, cadmiere eloxare*, etc.

Datorită dezvoltării tehnologiei, planoarele moderne au caracteristica de finețe maximă de peste 60, fapt care le permite realizarea unor performante ridicate (zboruri de distanță de peste 1.700 Km cu viteze medii de peste 150-200 km/h).

8. Sisteme de lansare la zbor

Deoarece planorul este un aparat de zbor care nu este dotat cu un grup motopropulsor, trebuie să fie ridicat până la o anumită înălțime care să îi permită în continuare un zbor independent.

Mijloacele cu ajutorul cărora se realizează acest lucru se numesc *sisteme de lansare* şi pot fi:

- sandoul;
- automosorul;
- avionul.

Lansarea cu sandoul se realizează prin propulsarea în aer a planorului cu ajutorul unei praştii de dimensiuni mari numită *sandou*.

Planorul este urcat pe deal şi acolo 2 echipe întind sandoul la vale în timp ce aeronava este ancorată. Prin eliberarea planorului, forța elastică din sandou îi imprimă acestuia viteza necesară zborului înălțimea fiind asigurată de diferența de cotă a pantei pe care a fost urcat. Acestă metodă de lansare nu se mai foloseşte deoarece greutatea planoarelor şi viteza de desprindere au crescut mult.

Remorcajul de automosor este metoda prin care planorul este ridicat până la o anumită înălțime cu ajutorul unui dispozitiv special numit automosor (vezi fig. 8.10).

Automosorul este o maşină dotată cu unul sau 2 tamburi, antrenați în mişcare de rotație de un motor, şi pe care se înfăşoară un cablu. Planorul este tras de acest cablu cu o viteză anume. Pilotul planorist va pune planorul pe o pantă de urcare (va trage de mansă), până la o anumită î2nălțime (cca.200--300 m), după care va declanşa şi va executa tema de zbor.

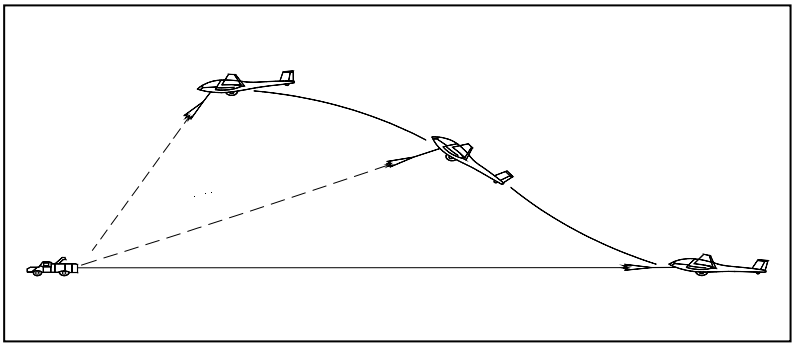


Fig. 8.10. Remorcajul de automosor

Remorcajul de avion este metoda prin care un planor este adus la înăltimea necesară cu ajutorul unui avion. Planorul este legat de avion prin intermediul unei funii lungi de 25-30 m şi când avionul ajunge la înălțimea dorită, pilotul planorist declanşează cablul şi execută zborul liber în continuare.

În România se folosesc, în prezent, pentru remorcaj, avioanele de tip PZL-104 Wilga-35A de construcție poloneză, sau automosoarele de tip AL-34 de construcție românească. În unele aerocluburi se folosesc automosoare de tip "Tost" de construcție germană.

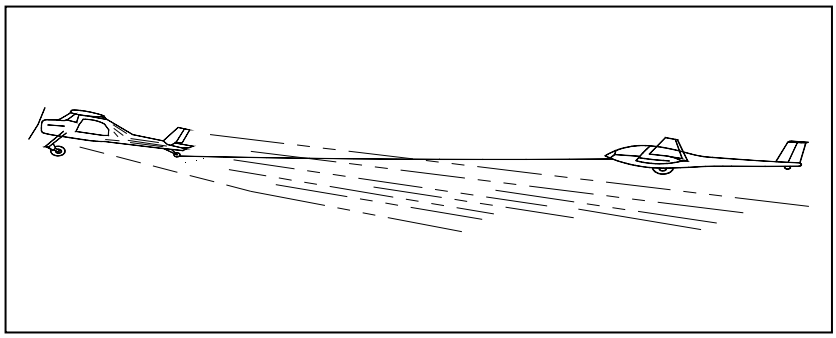


Fig. 8.11. Remorcajul de avion

9. Automosorul AL 34

În continuare vom prezenta pe scurt automosorul de tip AL 34:

Corpul automosorului propriu-zis este montat pe un şasiu de camion tip "Bucegi" fapt care îi permite să se deplaseze de la un loc la altul cu mijloace proprii. Automosorul are pentru acționare un motor de 258 CP, ce antrenează pe rând unul dintre cei 2 tamburi cu care este echipat. Combustibilul folosit este motorina.

Pe tamburi se înfaşoară cabul de remorcaj de 4,5 mm diametru; acesta este de tip multifilar si are o lungime de aproximativ 900-1500 m., lungime ce variază în funcție de lungimea terenului de decolare.

Fiecare tambur este echipat cu o foarfecă pentru tăiat cablul (la comanda pilotului mosorist) şi cu un distribuitor care are rolul de a aşeza cablul pe tambur spiră lângă spiră.

10. Planorul IS 28 B_2

Este un planor de ş*coală şi antrenament* de dublă comandă de construcție românească. Este complet metalic (din duraluminiu) şi are ca destinație zborurile de şcoală, antrenament şi acrobație.

Postul principal de pilotaj se află în față (postul elevului).

Ampenajele sunt în "T".

Este prevăzut cu *volet de curbură* şi frâne aerodinamice de tip Hutter, amplasate pe extrados. Trenul de aterizare este *semiescamotabil*, echipat cu amortizor oleopneumatic. Roata principală este prevăzută cu frână mecanică acționată în continuarea frânei aerodinamice.

La planoarele cu număr de serie pînă la 54, comanda frânei pe roată se găseşte amplasată fie pe manşă, fie pe podea, în partea stângă a postului de pilotaj.

Voletul de curbură are 5 poziții: -1 = -5°
0 = 0°
1 = 5°
2 = 10°
3 = 15°

Planorul poate executa următoarele evoluții acrobatice:

- vrie;
- looping;
- ranversare;
- răsturnare.

Pentru zborurile acrobatice planorul va fi echipat cu *accelerometru*.

Factorii de sarcină ai planorului IS 28 B_2 sunt:

- la greutatea de 590 Kgf = + 5.3 şi - 2.65 (varianta Utilitar)
- la greutatea de 520 Kgf = + 6.5 şi - 4 (varianta Acrobat)

Greutăți maxime admise la decolare:

- în dublă comandă = 590 Kgf
- în simplă comandă = 520 Kgf.

Greutatea maxim admisă în spațiul de bagaje (fără a depăşi greutatea maxim admisă) = 20 Kgf.

Greutatea planorului gol = 375 Kgf

Centrajul este realizat în limitele: 22% CMA (față) şi 47% CMA (spate).

În situația în care pilotul este prea uşor se vor monta greutăți de plumb pe podeaua postului de pilotaj față, după cum urmează:

La planoarele până la seria 45, pentru piloții uşori, (greutate între 55-61 Kgf), se va pune lest o greutate de 6 Kgf.

Pentru planoarele cu seria de fabricație peste 45 centrajul se asigură după cum urmează:

65-70 Kgf în postul principal 4 Kgf lest
60-65 Kgf în postul principal 8 Kgf lest
55-60 Kgf în postul principal 11.3 Kgf lest

Planorul este echipat cu următoarele instrumente de bord:

- variometru $\pm$ 5 m/s;
- variometru $\pm$ 30 m/s;
- altimetru;
- vitezometru;
- busola;
- indicator de viraj şi glisadă.

Ultimele planoare din serie au din construcție montată priza specială pentru presiune (priza pentru tubul Braunschweich).

Planorul IS 28 B_2 se admite la zbor cu următoarele defecte:

- trenul de aterizare nu se poate escamota, dar este siguranțat pe poziția scos;
- mici deformații pe înveliş datorate unor lovituri;
- fisuri ale cupolei de plexiglas (dar nu mai mari de 100 mm);
- lipsa geamurilor;

- nituri mişcate pe învelişul aripii (dar nu mai mult de 10% din îmbinare şi nu mai mult de 3 nituri alăturate);
- spărturi ale învelişului suprafețelor de comandă mai mici de 50 mm.

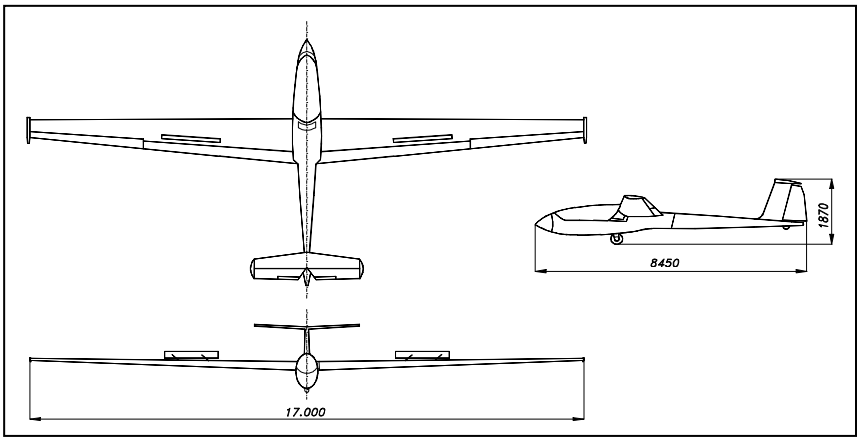


Fig. 10.12. Planorul IS 28 B_2

Caracteristicile geometrice şi parametri de zbor sunt prezentați împreună cu cele ale planorului IS 29 D_2.

Particularitățile privind tehnica pilotajului sunt prelucrate în cap.7 "Tehnica pilotajului".

11. Descrierea cabinei planorului IS 28 B_2

Ambele posturi de pilotaj (asezate în tandem) sunt acoperite de o cupolă de plexiglas care se deschide în jurul unor *şarniere,* spre dreapta.

În partea stângă a cadrului metalic, în dreptul fiecărui pilot se găseşte *maneta de închidere-deschidere a cabinei*, iar pe partea dreaptă, în mod simetric se găseşte *maneta de largare a cupolei* (mâner de culoare roşie).

Comanda voletului (mâner de culoare neagră) şi a frânei aerodinamice (mâner albastru) sunt amplasate pe peretele din stânga posturilor de pilotaj.

Pe podea, în partea stângă, în ambele posuri, se află *maneta de comandă a frânei pe roată* (la planoarele până la seria 45).

Pe partea stângă a cabinei în fața *comenzii frânei aerodinamice* se găseşte *maneta de comandă a compensatorului* (culoare verde).

Pe partea dreaptă a cabinei, în ambele posturi de pilotaj se găseşte *comanda de escamotare a trenului de aterizare* (poziția înainte = tren escamotat).

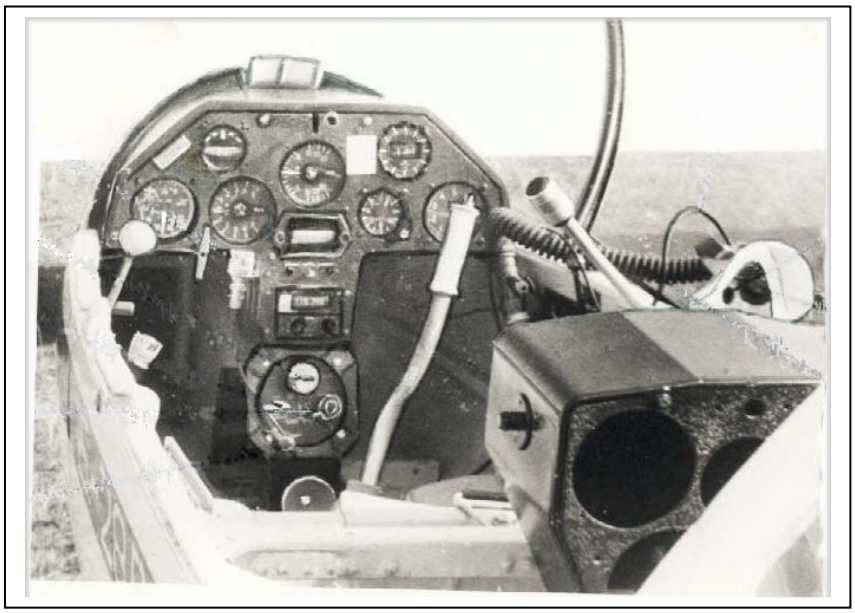


Fig. 11.13. Descrierea cabinei planorului IS 28 B_2

Comanda declanşatorului (maneta galbenă) se găseşte amplasată pe postul din față în partea stângă a tabloului de bord, iar pentru postul de pilotaj spate, aceasta se găseşte pe partea stângă a tabloului de bord.

În fața manşei, pe podea, în postul de pilotaj față, se găsesc *casetele pentru fixarea lestului suplimentar de corectare a centrajului* şi deasupra acestora, la centru, *rozeta de reglare a poziției palonierului.* Descrierea plansei de bord a planorului se găseste în cap. 5. "Instrumente de bord".

12. Planorul IS 29 D_2

Este un planor pentru *antrenament şi performanță*, monoloc (de simplă comandă), de construcție românească. Este complet metalic (din duraluminiu).

Ampenajele sunt în "T".

Este prevăzut cu *volet de curbură* şi frâne aerodinamice de tip Hutter, amplasate pe extrados. Trenul de aterizare este escamotabil, echipat cu amortizor de cauciuc. Roata principală este prevazută cu frână mecanică acționată în continuarea frânei aerodinamice.

La ultimele serii de planoare, comanda frânei pe roată se găseşte amplasată pe manşă.

Voletul de curbură are 5 poziții: -1 = -5^o
0 = 0^o
1 = 5^o
2 = 10^o
3 = 15^o

Planorul poate executa următoarele evoluții acrobatice:

- vrie;
- looping;
- ranversare;
- immelman.

Factorii de sarcină ai planorului IS 29 D_2 sunt:
-la greutatea de 360 Kgf + 5.3 şi - 2.65

Greutatea maxim admisă în spațiul de bagaje
(fără a depăşi greutatea maxim admisă) 20 Kgf.

Greutatea planorului gol 244 Kgf.

Centrajul este realizat în limitele: 18.75% CMA (față) şi 43% CMA (spate).

Planorul este echipat cu următoarele instrumente de bord:
- variometru ± 5 m/s;
- variometru ± 30 m/s;
- altimetru;
- vitezometru;
- busola;
- indicator de viraj şi glisadă.

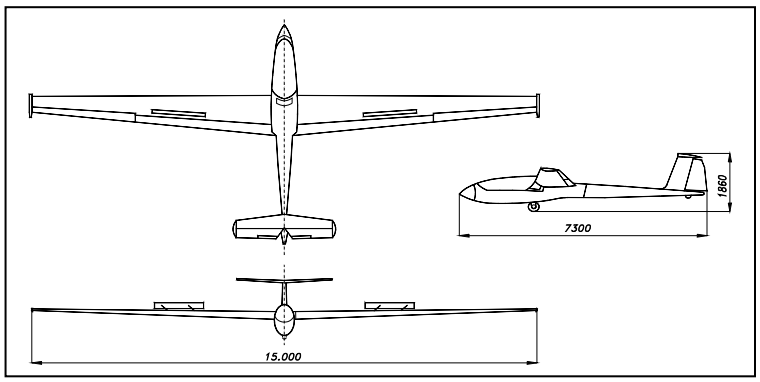


Fig. 12.14. Planorul IS 29 D_2

Ultimele planoare din serie au din construcție montată priza specială pentru presiune (priza pentru tubul Braunschweich).

Particularitățile privind tehnica pilotajului sunt prelucrate în cap.7 "Tehnica pilotajului".

13. Caracteristicile geometrice ale planoarelor IS 28 B_2 şi IS 29 D_2

DIMENSIUNI	IS 28 B_2	IS 29 D_2
Anvergura	17 m	15 m
Lungime maximă	8.45 m	7.3 m
Înălțime maximă	1.87 m	1.68 m
Suprafața aripii	18.24 m^2	11.68 m^2
Diedrul aripii	2^o.30'	2^o
Suprafața eleronului 2 x	1.28 m^2	1.04 m^2
Suprafața voletului		1.36 m^2
Suprafața stabilizatorului	1.37 m^2	0.79 m^2
Suprafața derivei	0.68 m^2	0.628 m^2
Suprafața profundorului	1.36 m^2	0.59 m^2
Suprafața direcției	0.81 m^2	0.556 m^2
Bracajul profundorului în sus	30^o	25^o
Bracajul profundorului în jos	26^o	20^o
Bracajul direcției la stânga	30^o	41^o
Bracajul direcției la dreapta	30^o	41^o
Bracajul eleroanelor în sus	28^o	28^o
Bracajul eleroanelor în jos	10^o	15^o
Bracajul flapsului în sus	5^o	5^o
Bracajul flapsului în jos	15^o	15^o

14. Caracteristicile în zbor ale planoarelor IS 28 B_2 şi IS 29 D_2

DIMENSIUNI	IS 28 B_2	IS 29 D_2
Finețea maximă a planorului	34	37
Viteza de zbor în S.C.	94 Km/h	93 Km/h
Viteza de zbor în D.C.	100 Km/h	-
Viteza de cădere pentru finețe maximă: - în simplă comandă - în dublă comandă	 0.82 m/s 0.86 m/s	 0.7 m/s -
Viteza minimă de cădere fiind de: se obține la viteza de zbor de:	0.6 m/s 80 Km/h	0.6 m/s 78 Km/h
Viteza minimă de cădere în D.C. este obținută la viteza	0.86 m/s 85 Km/h	-
Viteza maxim admisă (V_{NE})	230 Km/h	225 Km/h
Viteza maxim admisă la rafală a vântului de 15 m/s	165 Km/h	172 Km/h
Viteza maxim admisă în remorcaj de avion	140 Km/h	140 Km/h
Viteza maxim admisă în remorcaj de automosor	125 Km/h	125 Km/h
Viteza maxim admisă de scoatere a trenului şi cu trenul de aterizare scos	230 Km/h	225 Km/h
Viteza maxim admisă de scoatere şi cu frâna aerodinamică scoasă *	230 Km/h	225 Km/h
Viteza de manevră (V_A)	165 Km/h	172 Km/h
Viteza maxim admisă cu voletul bracat în poziția: -1 1 şi 2 3	 230 Km/h 180 Km/h 130 Km/h	 225 Km/h - 140 Km/h
Viteza de angajare în configurația de aterizare (viteza limită cu volet în poziția +3)(V_{SO})	65 Km/h	65 Km/h
Viteza minimă fără volet (greutate planor = 590 Kgf)	70 Km/h	75 Km/h
Viteza optimă de remorcaj avion	110-115 Km/h	110-115 Km/h
Viteza optimă de remorcaj automosor	100 Km/h	105 Km/h

Viteza optimă de apropiere pentru aterizare (cu volet scos)	100 Km/h	100 Km/h
Viteza minimă de apropiere pentru aterizare	85 Km/h	90 Km/h
Viteza normală de aterizare (de contact cu solul la aterizare)	65-70 Km/h	70 Km/h
Viteza maximă a componentei laterale a vântului admisă la decolare	6 m/s	6 m/s

* La planoarele IS 28 B_2cu seria până la 54, viteza maximă de scoatere şi de zbor cu frâna aerodinamică scoasă este de 140 Km/h.

15. Marcarea vitezometrului la planoarele IS 28 B_2 şi IS 29 D_2

MARCAJ	IS 28 B_2	IS 29 D_2
linie radială roşie	230 Km/h	225 Km/h
arc galben (utilizare cu prudență)	165-230 Km/h	172-224 Km/h
arc verde (utilizare normală)	70-165 Km/h	75-172 Km/h
arc alb (zona de utilizare a voleților)	65-130 Km/h	65-140 Km/h

16. Planorul IS 32 A

Este un planor biloc cu locuri în tandem, de construcție complet metalică, cu ampenaj în "T" şi tren de aterizare escamotabil. Este prevăzut cu volet de curbură interconectat cu eleroanele (*flapperon*) şi frâne aerodinamice.

Planorul este destinat zborului de antrenament şi performanță.

Planorul este echipat cu tren principal monoroată, escamotabil, cu amortizor oloepneumatic şi cu o roată bechie.

Voletul cu eleronul (cu manşa la mijloc) au 4 poziții:

-1 = -5^o
0 = 0^o
1 = 5^o
2 = 10^o

Frâna aerodinamică de tip Hutter este amplasată pe extrados şi pe intrados.

Ambele posturi de pilotaj (aşezate în tandem) sunt acoperite de o cupolă de plexiglas care se deschide în jurul unor şarniere spre dreapta.

În partea stângă a cadrului metalic, în dreptul fiecărui pilot se găseşte maneta de închidere-deschidere a cabinei, iar pe partea dreaptă, în mod simetric se gaseşte maneta de largare a cupolei (mâner de culoare roşie). Comanda voletului (mâner de culoare neagră) şi a frânei aerodinamice (mâner albastru) sunt amplasate pe peretele din stânga posturilor de pilotaj.

Pe podea, în partea stângă, în ambele posturi, se află maneta de comandă a frânei pe roată (a trenului de aterizare).

Pe partea stângă a manşei, la baza sa, se găseşte comanda compensatorului (culoare verde).

Pe partea dreaptă a cabinei, în ambele posturi de pilotaj se găseşte comanda de escamotare a trenului de aterizare (poziția înainte = tren escamotat).

Comanda declanşatorului (maneta galbenă) se găseşte amplasată pe postul din față în partea sângă a tabloului de bord, iar pentru postul de pilotaj spate, aceasta se găseste pe peretele din stânga cabinei.

În fața manşei, pe podea, în postul de pilotaj față, se găsesc casetele pentru fixarea lestului suplimentar de corectare a centrajului şi deasupra acestora, la centru, rozeta de reglare a poziției palonierului.

17. Caracteristici geometrice ale planorului IS 32 A

Anvergura	20 m
Lungimea maximă	8.36 m
Înălțimea maximă	1.55 m
Suprafața aripii (diedru de 2^o)	14.68 m^2
Suprafața eleronului (2 x 0.1945 m^2 =)	0.389 m^2

Suprafețe ampenaje:

Stabilizator	1.16 m^2
Profundor	0.6 m^2
Deriva	0.697 m^2
Direcție	0.57 m^2

Bracaje:

Profundor în sus	$30^o \pm 2^o$
Profundor în jos	$27^o \pm 2^o$
Direcție în stânga	$30^o \pm 2^o$
Direcție în dreapta	$30^o \pm 2^o$
Eleron în sus	$-17^o \pm 2^o$
Eleron în jos	$10^o \pm 2^o$

Zborul în nori este interzis.
Zborul de noapte este interzis.
Factori de sarcină la greutatea maximă de 590 Kgf: +4 şi -1;
Greutate planor gol: 407 Kgf;
Greutatea maximă în D.C. (utilitar): 590 Kgf;
Greutatea maximă în spațiul de bagaje (fără a depăşi greutatea admisă: 20Kgf
Limitele de centraj:

- față: 19.3% CMA
- spate: 44.1% CMA

Pentru încadrarea în limitele de centraj în cazul piloților uşori se utilizează lest suplimentar de plumb amplasat pe podeaua postului de pilotaj față, după cum urmează:

55-65 Kgf în postul de pilotaj principal 14,6 Kgf lest
66-75 Kgf în postul de pilotaj principal 7,3 Kgf lest

Lestul se aplică la zborurile în SC când greutatea pilotului (inclusiv paraşuta) este mai mică decât 75 Kgf.

Finețea optimă este de 46.5 şi se obține la viteza de 104 Km/h în SC şi 108 Km/h în DC.

Viteza maxim admisă a vântului lateral este de 5 m/s.

18. Caracteristici în zbor ale planorului IS 32 A

Viteza maxim admisă (VNE)	195 Km/h
Viteza maximă la rafală a vântului de 15 m/s (V_B)	160 Km/h
Viteza maximă în remorcaj de avion (V_T)	140 Km/h
Viteza maximă cu trenul de aterizare scos (V_{LO})	195 Km/h
Viteza maximă de scoatere a trenului (V_L)	140 Km/h
Viteza maximă cu frânele scoase (V_{frina})	195 Km/h
Viteza maximă cu voletul bracat la 10^o (+2)	140 Km/h
Viteza maximă de lansare cu automosorul	125 Km/h
Viteza de manevră (V_A)	160 Km/h
Viteza de angajare în configurația de aterizare (V_{SO})	80 Km/h
Viteza de angajare în configurație normală (volet=0^o)	86 Km/h
Viteza minimă de înfundare (de 0.56 m/s) se obține la viteza de	90 Km/h

Marcarea vitezometrului:

linie radială roşie	195 Km/h
arc galben (utilizare cu prudentă)	160-195 Km/h
arc verde (utilizare normală)	85-160 Km/h
arc alb (zona de utilizare a voleților)	80-140 Km/h
triunghi galben	110 Km/h

19. Norme de întreținere a planoarelor

Normele de întreținere constau într-o serie de controale, revizii periodice care se fac:

- zilnic, înainte de zbor
  - -la scoaterea din hangar;
  - -la start.
- saptămânal
  - -la efectuarea unui număr de zboruri stabilite;
  - -la întoarecerea din zborul de distanță;
  - -la stocare;
  - -când se observă sau se depistează un defect.

Întreținerea propriuzisă constă în:

-curățirea interioară şi exterioară a planorului;

-gresarea pieselor în mişcare;

-controlul şi aducerea la poziția normală a amortizoarelor şi a cauciucurilor;

-reglarea comenzilor şi a compensatoarelor;

-reglarea instrumentelor de bord;

-aprovizionarea cu surse electrice, oxigen, etc. pentru instrumentele şi echipamentul de bord.

Întreținerea aparatelor de bord constă în însăşi montarea lor în aşa fel încât să fie ferite de şocuri şi presiuni. Aceasta se realizează prin montarea tabloului de bord pe planor prin intermediul garniturilor de cauciuc. Se va avea grijă să nu existe gâtuiri sau fisuri la conducte.

Conductorii electrici trebuie să aibă continuitate, să aibă izolația în bună stare.

Prizele de aer trebuie să fie curate, iar în repaus să fie husate.

Prizele trebuie să fie ferite de şocuri mecanice şi de modificări de secțiune.

Bateriile pentru instrumentul giroscopic să fie schimbate la timp.

Busola să fie compensată, controlată zilnic pentru depistarea eventualelor defecte.

Orice instrument va fi înlocuit în situația în care o cauză internă face ca acesta să nu funcționeze sau să dea indicații eronate.

CAPITOLUL II
METEOROLOGIE

1. Generalități

Meteorologia este ştiința care se ocupă cu studiul atomosferei şi a fenomenelor din atmosferă.

Starea vremii influențează în mod deosebit desfăşurarea întregii activități aeronautice (precum şi multe alte domenii de activitate ale omului). Activitatea de cercetare meteorologică este pusă la punct pe întreg globul prin înființarea în anul 1951 a ***O**rganizației **M**eteorologice **M**ondiale*, instituție specializată a ONU.

Pe plan intern, activitatea de cercetare meteorologică se realizează prin ***I**nstitutului **M**eteorologic **C**entral* (înființat în anul 1884), care în anul 1991, prin reorganizare se va numi ***I**nstitutul Național de **M**eteorologie şi **H**idrologie*.

Acest institut este organizat în țară printr-o rețea de stații meteorologice şi hidrologice; acestea culeg date pe care le centralizează INMH şi apoi le retransmite pe tot globul. Institutul Național de Meteorologie şi Hidrologie este dotat şi cu o stație de urmărire şi transmisie a datelor culese de sateliții meteorologici.

2. Atmosfera

Atmosfera este învelişul gazos al globului pământesc, cunoscut sub denumirea de *aer*.

Aerul este un amestec de gaze conținând în plus vapori de apă, particule microscopice, fum, praf, micrometeoriți, săruri, bacterii, etc. (acestea pot atinge 4% din atmosferă).

Studiind aerul uscat s-a constatat că procentajul gazelor componente ale atmosferei este următorul: 78,9% azot; 20,95% oxigen; 0,93% argon; 0,03% bioxid de carbon. Restul de câteva sutimi îl formează gazele rare cum ar fi: hidrogenul, heliul, radonul, neonul, criptonul, xenonul, metanul, ozonul.

Cu toate că aceste gaze au greutăți specifice diferite, din cauza mişcărilor atmosferei nu se pot stratifica în raport cu densitatea lor aşa că până la altitudini de cca. 70 km compoziția aerului este aproape omogenă.

3. Înălțimea atmosferei

Înălțimea maximă a atmosferei este de 2500 km, dar în mod practic se consideră ca fiind extinsă până la 800 km.

La această înălțime aerul este extrem de rarefiat, elementele (moleculele) găsindu-se, nu în stare moleculară, ci în stare atomică.

4. Zonele atmosferei

Zonele atmoserei au fost determinate în urma studiului făcut privind variația temperaturii cu înălțimea. Aceste zone sunt:

- troposfera;
- stratosfera;
- mezosfera;
- termosfera.

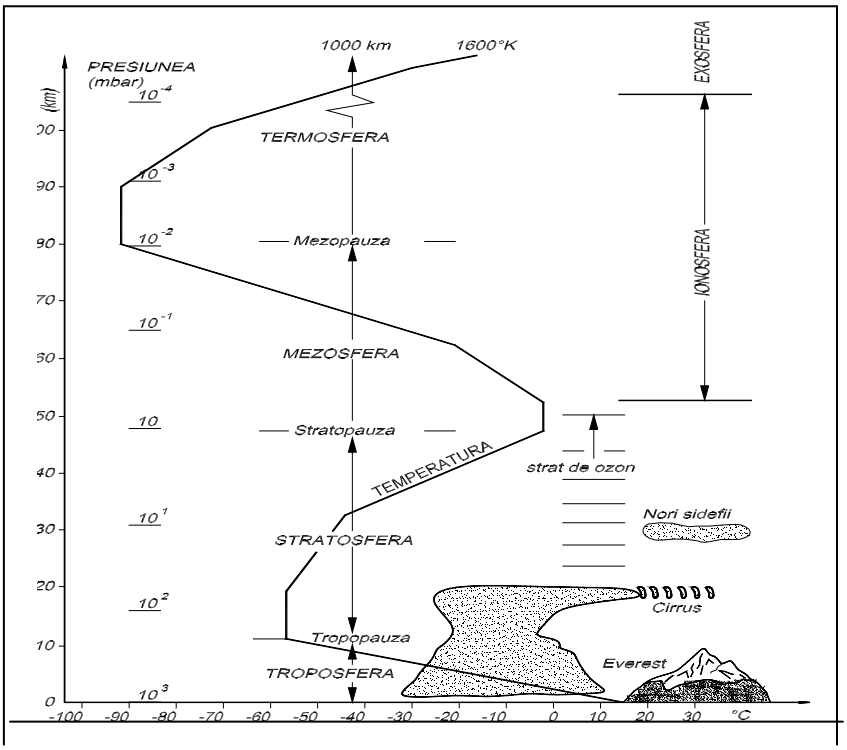


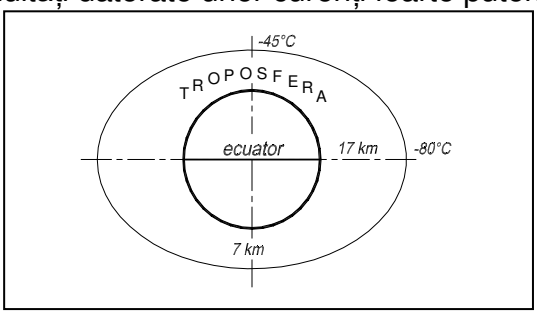
Fig. 4.1. Zonele atmosferei

Troposfera (zonă în care au loc toate fenomenele obişnuite din natură: ploaie, fulgere, trăsnete etc.) se află cuprinsă ca înălțime între 5-8 km la pol şi 15-18 km la ecuator (Fig. 4.2.).

Tropopauza separă troposfera de stratul următor, stratosfera, prezentând un salt brusc de temperatură.

Temperaturile medii sunt de -45° C la pol şi de -80°C la ecuator.

Această zonă este caracterizată prin existența unor vânturi puternice de natură termică şi prezintă unele discontinuități datorate unor curenți foarte puternici numiți *curenți jet*.



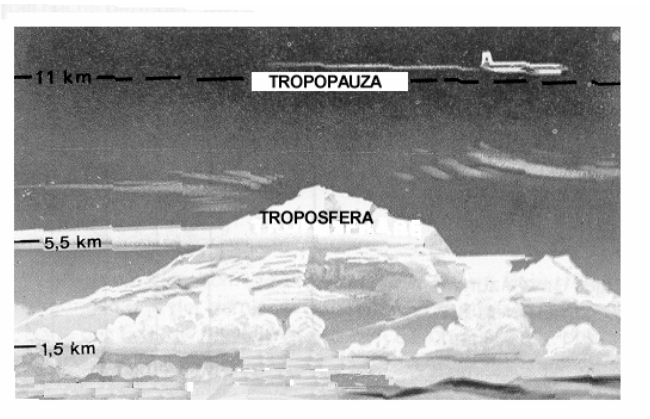


Fig 4.2. Troposfera

Convențional, tropopauza are o altitudine de 11km şi temperatura standard de -56,5°C.

Stratosfera se întinde până la 35-50 km.

Temperatura, la început, are un mers staționar ca apoi să crească mult datorită ozonului care absoarbe razele ultraviolete.

Stratul de ozon se află între 20-30 km înălțime, având o grosime de câțiva metri.

Stratosfera este mai groasă la poli şi mai subțire la ecuator.

Vizibilitatea este foarte bună, conținutul de vapori de apă fiind foarte redus.

Vânturile, deşi sunt foarte puternice, au un caracter *laminar.* Până la 25 km predomină vânturile de vest, iar deasupra cele de est.

Stratopauza este o zonă de tranziție între stratosferă şi mezosferă aflată la altitudinea de aproximativ 50 km fiind caracterizată printr-un maxim de temperatură.

Mezosfera este caracterizată prin descreşterea temperaturii cu înălțimea, atingând -70°C între 80-85 km altitudine .

Termosfera este caracterizată prin creşterea continuă a temperaturii ajungându-se temperaturi de peste 1000 °C.

Ionosfera. Aici aerul este puternic ionizat (electrizat). Acest fenomen are loc datorită bombardării moleculelor gazelor rarefiate de către razele cosmice (straturile ionizate reflectă undele electromagnetice către pământ).

Exosfera este caracterizată prin aceea că aerul nu se mai găseşte în stare moleculară (ci atomică) datorită bombardării moleculelor cu raze cosmice. Aici vom întâlni ziua temperaturi de aprox. +2500 °C, iar noaptea aproape de -273 °C.

5. Factorii atmosferici

Aerul atmosferic este caracterizat de 3 factori atmosferici care nu sunt legați funcțional ci sunt în *interdependență statică*.

Cei 3 factori sunt: *presiunea, temperatura şi umiditatea*.

În afară de aceştia, aerul se mai caracterizează printr-o *mişcare turbulentă* în raport cu suprafața terestră.

Ansamblul *marilor mişcări permanente* şi din care rezultă *circulația atmosferei* depinde de *distribuția temperaturii pe glob* şi de *rotația pământului*.

Mişcarea aerului constituie o problemă fundamentală pentru *meteorologia sinoptică* (aceasta efectuează observații pentru prevederea de temperatură).

6. Temperatura aerului

Prin temperatură se înțelege starea de încălzire a unui corp (repectiv starea de încălzire a aerului).

Căldura este o formă de energie. Dacă un corp primeşte căldură el se încălzeşte, iar cînd cedează căldura el se răceşte.

În natură schimbul de energie se face astfel încât corpurile mai calde cedează căldura celor mai reci.

Fiecare corp are o căldură specifică şi în funcție de aceasta el se va încălzi mai uşor sau mai greu. Prin *căldură specifică* a unui corp înțelegem cantitatea de căldură necesară pentru a încălzi cu un grad Celsius un kilogram din acel corp. Unitatea de măsură este Joule/kg ^{o}C.

Corpurile având călduri specifice diferite se vor încălzi de la aceeaşi sursă (de exemplu soare) în mod diferit.

6.1. Propagarea căldurii

Căldura se propagă prin conducție (contact), convecție şi radiație.

Prin *conducție* căldura se propagă în interiorul corpurilor materiale sau la limita de contact dintre corpuri diferite, aceasta *transmițându-se de la moleculă la moleculă*.

Corpurile pot fi:

- rău conducătoare de căldură (lemn, plastic, etc.);
- bune conducătoare de căldură (metale).

Prin *convecție* căldura se propagă în mediile fluide (care au coeficienți de conducție cu atât mai scăzuți cu cât densitatea fluidului este mai scazută) *prin curenți* generați de către diferențele de temperatură. Astfel, prin aceste medii, prin curenți căldura poate fi uşor transportată dintr-o regiune caldă în alta rece, pe distanțe medii.

Prin *radiație* căldura se propagă prin intermediul *radiației electromagnetice* (spectrul caloric).

Toate corpurile cu temperaturi peste -273^{o}C (0^{o}K), emit radiații calorice ce au diferite lungimi de undă care, pe măsură ce creşte temperatura se apropie de lungimea de undă a razelor luminoase (corpurile cu temperaturi de peste 500^{o}C).

6.2. Încălzirea atmosferei

Încălzirea atmosferei se realizează de la pământul încălzit de soare prin conducție la limita de contact cu aerul atmosferic şi prin *convecție* pentru straturile îndepărtate. De la soare aerul primeşte o cantitate foarte mică de căldură deoarece este un mediu transparent (Fig. 6.3.).

Suprafața terestră se încălzeşte de la soare prin *radiație* şi datorită structurii diferite a acestuia (oraşe, lacuri, câmpii, munți, păduri) se va încălzi în mod diferit. Aerul din imediata vecinătate a solului se va încălzi prin contact de la sol, va deveni mai uşor (mai puțin dens) şi va urca în altitudine dând naştere *curenților de convecție* care vor încălzi la rândul lor atmosfera până la mari înălțimi.

Curenții turbulenți (starea de agitare dezordonată şi transportul *advectiv* al unor mase de aer contribuie de asemenea la încălzirea atmosferei. *Comprimarea* sau *dilatarea* aerului produce de asemenea *efecte termice* (încălzire, răcire).

Noaptea solul se răceşte treptat şi prin contact se va răci şi aerul din apropierea solului (*răcire nocturnă*). Atmosfera terestră se comportă ca un *termostat* moderându-şi c[ldura ziua şi întârziind pierderea acesteia noaptea.

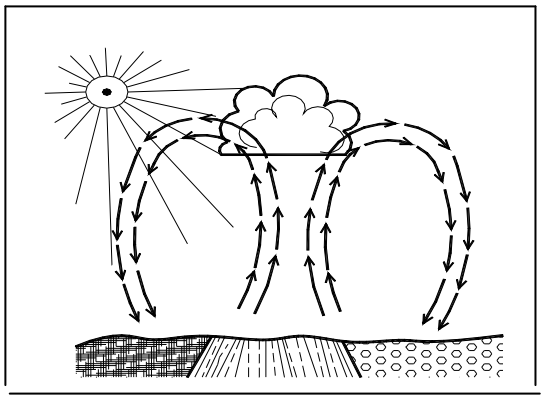


Fig. 6.3 Încălzirea atmosferei

M.6.3. Măsurarea temperaturii

Se realizează cu ajutorul termometrelor (cu alcool sau cu mercur).

Mai există termometre de maximă şi de minimă temperatură (vezi Fig. 6.4.), precum şi termometre înregistratoare numite *termografe*.

Unități de masură pentru temperatură:

- gradul *Celsius* (^oC); se consideră 0^oC *punctul de îngheț al apei* şi 100^oC *punctul de fierbere a apei*;
- gradul *Kelvin* (^oK); ca valoare $1^oK=1^oC$, dar 0^oK este *zero absolut*, rezultând:

$0^oK = -273.15^oC$;
$0^oC = 273.15^oK$;
$100^oC = 373.15^oK$;

- gradul *Fahnrenheit* (folosit în țările anglo-saxone); -32^oF= *punctul de îngheț al apei* şi 212^oF= *punctul de fierbere a apei*;

$1^oC = 9/5^oF$;
$1^oF = 5/9^oC$.

În mod obişnuit temperaturile mai mari de 0^oC se notează cu "+" (de exemplu $+15^oC$), iar cele mai mici de 0^oC se notează cu "-" (de exemplu -25^oC).

Temperatura standard în aviație este de $+15^oC$ la 760 mm Hg.

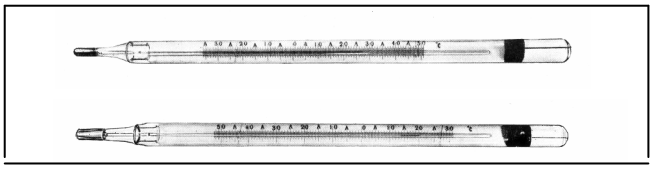


Fig. 6.4. Măsurarea temperaturii

6.4. Variațiile temperaturii aerului

A. Considerând *acelaşi loc* de pe glob vom avea următoarele *variații de temperatură*:

a. *periodice*: diurnă şi sezonieră;

În cazul variației *diurne* temperatura prezintă un *maxim* la cca. 2-3 ore după ce soarele a trecut la meridian (la verticala locului) şi un *minim* după ce a răsărit soarele.

În cadrul variației *sezoniere* temperatura prezintă un *maxim* vara şi un *minim* iarna;

b. *neperiodice* (accidentale) ale temperaturii sunt produse de *perturbații atmosferice* ca de exemplu invazii de aer (cald sau rece).

B. Variația temperaturii *de la loc la loc* se prezintă astfel:

- mergând *pe meridian temperatura scade de la ecuator spre poli*;
- *invaziile de mase de aer* (cald sau rece) fac ca *pentru aceeaşi oră* să avem *pe locuri relativ apropiate diferențe de temperaturi* destul de mari.

Privind distribuția temperaturii pe sol (deci pe orizontală), pe *hărțile sinoptice* se trasează *izotermele* din 5 în 5°C. (*Izotermele reprezintă liniile ce unesc toate punctele cu aceeaşi temperatură*).

C. *Variația temperaturii în înălțime*.

Temperatura în general scade cu înălțimea datorită faptului că aerul este un mediu rău conducător termic. Uneori între sol şi 10 m pot fi variații de temperatură de 5°C până la 10°C. În înălțime temperatura scade în general ca în Fig. 6.1. Totuşi, până la 5 km (în troposferă), nu întotdeauna temperatura va scădea cu înălțimea. Peste 5 km, temperatura scade cu 6.5°C/km până la tropopauză (-45°C la pol şi -80°C la ecuator).

În atmosferă *aerul care urcă se destinde şi ca urmare se răceşte* (în mod *adiabatic)* iar *la mişcările descendente se încălzeşte*.

6.5. Gradientul termic

Gradientul termic vertical reprezintă variația temperaturii pentru o diferență de nivel de 100 m. În meteorologie pentru întocmirea *diagramelor aerologice* (obținute în urma *sondajelor radio în altitudine*), se foloseşte, pentru *aerul uscat,* valoarea de 1°C/100 m (*gradientul adiabatic uscat*), iar pentru *aerul umed saturat*, valoarea de 0,5°C/100 m (*gradientul adiabatic umed*).

În aviație s-a adoptat ca *gradient mediu* valoarea de 0,65°C/100m.

6.6. Inversiune, izotermie

Zona în care temperatura creşte odată cu creşterea de înălțime se numeşte zonă de inversiune sau, simplu, inversiune.

Izotermia este reprezentată de zona în care temperatura este staționară cu creşterea de înălțime.

Cauzele care produc inversiunile şi izotermiile sunt multiple:

- radiația nocturnă în nopțile senine;
- invazii de aer rece care produc inversiuni la sol;
- comprimarea aerului, invazii de aer pe diferite straturi, pături de nori, căldura de condensare a vaporilor de apă;
- fronturile meteorologice care produc inversiuni sau izotermii în altitudine.

În situația inversiunilor la sol se produce *ceața* ce are ca efect micşorararea vizibilității.

7. Umezeala aerului

După cum am văzut la structura atmosferei, în aer vom găsi, în afară de elementele chimice, apa. Aceasta se poate afla sub cele 3 stări de agregare pe care le cunoaştem: *gazoasă, lichidă şi solidă*, după cum urmează:
- starea gazoasă – vapori de apă, este invizibilă;
- starea lichidă - sub forma picăturilor fine de apă care formează ceața, burnița, ploaia, norii, etc.;
- starea solidă - zăpada, gheața, grindina, etc.

Conținutul în apă al atmosferei este variabil şi provine din evaporarea apelor de suprafață (oceane, lacuri, râuri, transpirația plantelor, etc.). Evaporarea are loc până când aerul devine *saturat,* adică el conține cantitatea maximă de vapori, surplusul condensându-se. *Procesul de evaporare depinde de temperatură*; astfel dacă temperatura este mai mare şi cantitatea de vapori poate fi mai mare. Dacă luăm o cantitate de aer şi îi micşorăm temperatura, se ajunge la un moment când aerul se va satura, producându-se *condensarea*.

Temperatura la care aerul devine saturat se numeşte tempertura punctului de rouă.

Umezeala absolută (U_a) exprimă cantitatea de vapori de apă în grame conținută de 1m^3 de aer (în momentul determinării). Se detemină astfel: se ia un tub cu o substanță *higroscopică* care se cântăreşte. Se aspiră prin tub 1m^3 de aer şi se cântăreşte din nou tubul. Diferența de greutate reprezintă tocmai cantitatea de vapori de apă. Umezeala absolută este direct proporțională cu temperatura. Astfel iarna umezeala absolută nu depăşeşte 5gr/m^3, iar vara este peste 10-15gr/m^3.

Umezeala absolută maximă (U_{am}) exprimă cantitatea maximă de vapori de apă ce o poate conține 1m^3 de aer la o anumită temperatură.

T (^{o}C)	-30	-20	-10	0	10	20	30
U_{am} (g/m^2)	0.3	1,1	2,3	4,9	9,4	17,3	30,4

Din tabelul de mai sus se observă că *umezeala absolută maximă creşte odată cu creşterea temperaturii aerului*.

Umezeala relativă (U_r) exprimă raportul dintre umezeala absolută şi umezeala absolută maximă, în procente U_r.

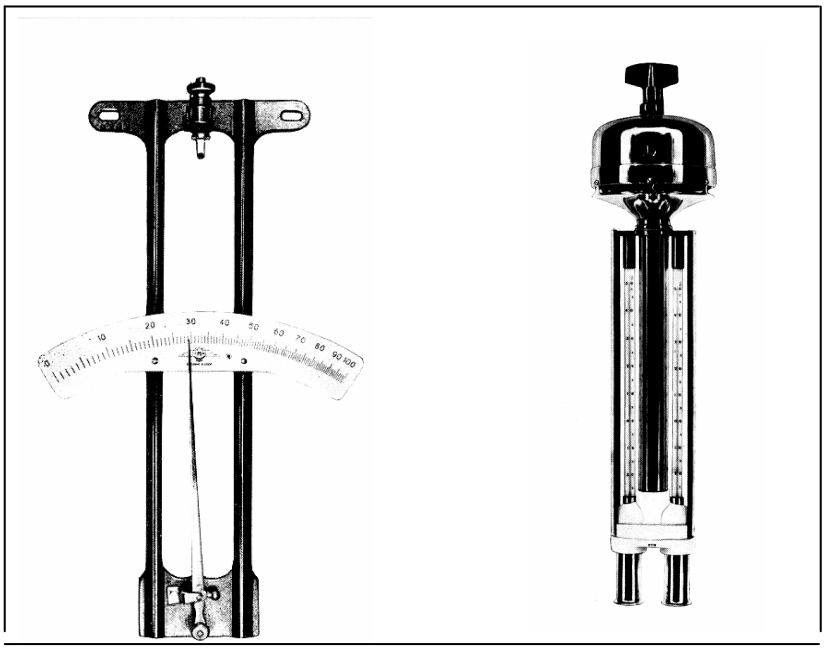
$U_r = U_a/U_{am}$ 100 (%)

Umezeala relativă variază invers proporțional cu temperatura; astfel în zilele călduroase de vară ea este mai mică, decât noaptea (când temperatura este mai mică). Altfel spus *umezeala relativă este raportul dintre tensiunea elastică a vaporilor de apă în momentul respectiv şi teniunea maximă ce o poate avea aerul la temperatura din momentul respectiv*.

7.1. Măsurarea umezelii

Dintre mărimile fizice ale umezelii aerului singura care se poate măsura direct este umezeala relativă. Instrumentul cu care se face măsurarea se numeşte *higrometru* (vezi Fig. M.7.5).

Acesta se construieşte cu un fir de păr (blond şi degresat), care este foarte sensibil la umezeală (adică se întinde foarte mult la umezeală).



Higrometrul Psihrometrul

Fig. 7.5. Instrumente de măsurare a umezelii

Pentru măsurarea temperaturii punctului de rouă şi a umezelii relative (se scoate din tabele) se foloseşte *psihrometrul* (vezi Fig. 7.5).

Acesta este format din două termometre din care unul are *bulbul* umed şi unul bulbul uscat.

Prin intermediul unei turbine se suflă peste aceste termometre (asupra bulbului) un metru cub de aer. La sfirşitul operației se citeşte diferența de temperatură.

În funcție de temperatura ambiantă şi de diferența respectivă din tabele se va scoate umezeala relativă şi temperatura punctului de rouă.

7.2. Relații între temperatură şi umezeală

Umezeala aerului este în strânsă legătură cu temperatura sa. Ele sunt direct proporționale astfel:

- umezeala absolută este mai mare vara decât iarna, deoarece din cauza temperaturii ridicate vara procesul de evaporare este mai intens, în timp ce iarna evaporarea este mai scăzută, deci şi umezeala absolută este mai mică;
- umezeala absolută maximă este cu atât mai mare cu cât temperatura aerului este mai mare (un metru cub de aer poate să conțină mai mulți vapori cu cât creşte temperatura);
- umezeala relativă reprezentând raportul dintre U_a şi U_{am} va avea un mers invers cu cel al temperaturii. Astfel, pentru un metru cub de aer pe masură ce îi scădem temperatura, observăm că scade şi U_{am} deci U_r creşte (urmărim formula de la pct. 7.).

Exemplu: considerăm că avem un metru cub de aer care are U_a = 10g şi temperatura de 17^{o}C:

$U_r = U_a/U_{am} \times 100 = 10/17 \times 100 = 58$ %

Dacă scădem temperatura la 10°C vom avea U_{am} = 9,4 g/m şi respectiv U_r = 10/9.4 x 100 = 100 % deci aerul este saturat.

7.3. Variația umezelii

Ca şi la temperatură vom avea variații periodice şi accidentale:

Variații periodice (regulate)

a. diurnă şi

b. sezonieră;

a. variația diurnă

- U_{am} creşte ziua, iar noaptea scade;
- U_a creşte ziua, scade noaptea (ziua evaporarea este mai intensă datorită temperaturii mai mari);
- U_r este mai mare noaptea şi mai mică ziua (ziua apa se evaporă şi noaptea cantitatea evaporată duce la creşterea U_r datorită scăderii temperaturii şi respectiv a U_{am};

b. variația sezonieră

- U_{am} creşte vara şi scade iarna;
- U_a este mai mică vara față de iarna, când temperaturile sunt mai mici;
- U_r ca şi umezeala absolută este mică vara față de iarna.

Variația accidentală a umezelii se produce datorită mişcărilor maselor de aer, mişcări datorate anumitor cauze (de exemplu diferența de temperatură de la un loc la altul).

Variația umezelii în altitudine

În înălțime datorită scăderii presiunii (se tratează la pct. 8.1.), aerul se dilată (îşi măreşte volumul). Deoarece pentru masa de aer care urcă, cantitatea de apă rămâne aceeaşi (dar volumul se măreşte), umezeala absolută se micşorează astfel că U_a ajunge la înălțimea de 5.000 m să aibă doar o zecime din valoarea de la sol.

Umezeala relativă creşte până la *nivelul de condensare*, atinge cele mai mari valori în nori iar deasupra scade brusc, deoarece aerul devine foarte uscat.

` *Nivelul de condensare reprezintă înălțimea la care umezeala relativă devine 100% (vaporii de apă condensează).* În acest moment apar norii.

8. Presiunea atmosferică

Datorită greutății proprii aerul exercită asupra corpurilor o forță ce poartă denumirea de *presiune*.

Prin presiune se înțelege apăsarea exercitată de o coloană de aer având suprafața bazei de 1cm^2 şi înălțimea egală cu înălțimea atmosferei.

Toricelli, prin experiența sa, dovedeşte existența presiunii atmosferice (Fig. 8.6.).

Unitățile de masură pentru măsurarea presiunii atmosferice sunt *milimetrul coloană de mercur (mmHg) şi hectoPascalul (hPa).* În anul 1986, Organizația Meteorologică Mondială a stabilit că în onoarea savantului francez Blaise Pascal (1623 - 1662) să se introducă unitatea de măsură a presiunii numită "Hectopascal", înlocuind vechea unitate de măsură, milibarul: (1HPa = 1mb).

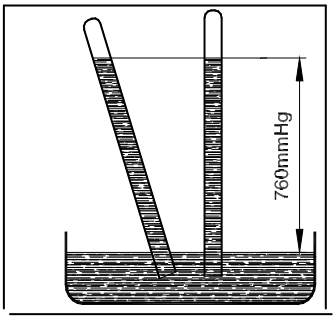
Pentru măsurători se foloseşte *mercurul* deoarece are o densitate mare (Fig. 8.6.) şi necesită coloane relativ scurte.
760 mmHg = 1033,6 g/cm^2;
1 g/cm^2 = 1 dynă;
1 mmHg = 1,33 hPa.

Pentru un calcul rapid se ia 1mmHg = 4/3hPa şi, respectiv,
1hPa = 3/4mmHg.

Măsurarea presiunii se face cu ajutorul:
- *barometrului* cu mercur sau cu capsulă aneroidă;
- *barografului* (aparat înregistrator).

Funcționarea acestor aparate se analizează la capitolul "Instrumente de bord".

Pentru efectuarea măsurătorilor se face reducerea presiunii la 0°C, prin calcul sau tabele.



2Fig. 8.6. Experiența lui Toricelli

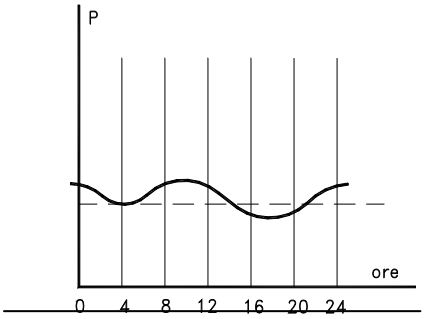


Fig. 8.7. Variația diurnă a presiunii

2

8.1. Variațiile presiunii atmosferice

a. *variația diurnă* (Fig. 8.7.) reprezintă două maxime şi două minime pentru 24 de ore astfel:
- maxime în jurul orelor 10 şi 24 şi
- minime în jurul orelor 04 şi 16.

Aceste variații diurne pot atinge un hectopascal (milibar) în zonele temperate şi câțva milibari în cele tropicale.

b. în afara variațiilor diurne există şi *variații sezoniere*; astfel pe continent presiunea prezintă un maxim iarna şi un minim vara, iar pe oceane maximul este vara şi minimul este iarna.

c. *variațiile accidentale su*nt mai importante deoarece sunt legate de caracterul timpului.

Acestea sunt produse de perturbațiile atmosferice şi pot atinge 10 mb într-un timp scurt.

d. *variația presiunii în altitudine*

Presiunea atmosferică scade (vezi Fig. 4.1.) în altitudine datorită:
- scăderii densității aerului în înălțime;
- scurtării coloanei de aer odată cu creşterea înălțimii.

Savantul Laplace a stabilit *legea variației presiunii cu altitudinea*. Aceasta este o funcție logaritmică complexă. Pentru a uşura calculele a fost introdusă *treapta barică.* Aceasta reprezintă

2distanța pe verticală, în metri, pentru care se înregistrează o descreştere a presiunii atmosferice cu 1 milibar.

Treapta barică se calculează pe intervale pe care se poate aproxima o scădere liniară a valorii presiunii după cum urmează:
- la nivelul mării scade cu 1mb pentru 8,4 m sau cu 1 mmHg pentru fiecare 11,2 m;
- la 5000 m presiunea scade cu 1 mb la fiecare 16 m;
- la 11000 m presiunea scade cu 1 mb la fiecare 32 m.

8.2. Vântul

Datorită fluidității sale aerul poate avea *mişcări orizontale, verticale sau înclinate*.

Mişcarea orizontală a aerului se numeşte vânt.

Mişcările verticale şi înclinate se numesc curenți.

Vântul este provocat de diferența de presiune (pe orizontală) de la loc la loc. Aceste diferențe pe orizontală există atât la nivelul solului cât şi la înălțime. *Cauza principală a acestor diferențe o constituie încălzirea inegală a suprafeței terestre deci şi a maselor de aer din vecinătatea acestora*.

Astfel spre zonele mai încălzite (unde presiunea este mai mică) se îndreaptă aerul mai rece (cu o presiune mai mare).

8.3. Mărimile ce definesc vântul

Mărimile ce definesc vântul sunt *direcția şi intensitatea (forța)*.

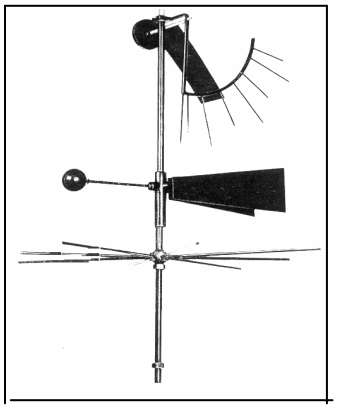


Fig. 8.8. Girueta

Fig. 8.9. Anemometrul cu cupe

Prin *direcție,* în meteorologie se înțelege *direcția de unde "suflă" (vine) vântul*. Ea se indică prin grade sexagesimale cu următoarea corespondență: N = 360^o (0^o); S = 180^o; E = 90^o; W = 270^o.

Viteza vântului se exprimă în următoarele unități de măsură: m/s; km/h; mile marine/h (= nod (1 milă marină = 1853m)).

Transformarea din km/h în m/s se face înmulțind m/s cu 3,6 sau, aproximativ, înmulțind m/s cu 4 şi scăzând din produs cifra zecilor.

Direcția vântului este indicată la sol de *giruete* (vezi Fig. 8.8.), iar în înălțime cu ajutorul *baloanelor* sau a *radiosondelor.*

Pe aerodrom, pentru măsurarea direcției vântului, se mai foloseşte *mâneca de vânt şi T-ul mobil*.

Pentru măsurarea *intensității vântului se folosesc anemometrele cu cupe sau cu palete, sau anemografele* (vezi Fig 8.9.).

8.4. Izobarele

Distribuția presiunii atmosferice pe suprafața globului este indicată pe hărțile meteorologice cu ajutorul izobarelor.

Izobarele sunt liniile care unesc punctele cu aceeaşi presiune atmosferică.

Hărțile izobarice pot fi anuale, lunare, zilnice, etc.

Dacă izobarele formează o serie de cercuri concentrice în jurul unui punct, această zonă se numeşte *centru de presiune*.

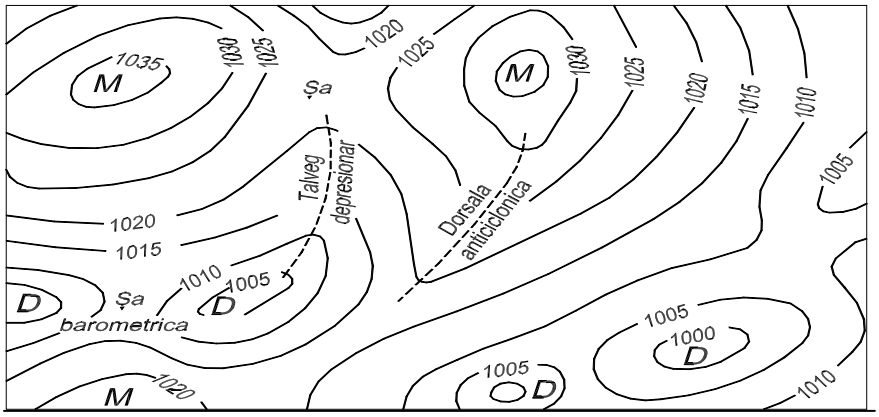


Fig. 8.10. Formațiuni barice

8.5. Ciclonul

Se mai numeşte centru de minimă presiune şi este o formă barică caracterizată prin descreşterea presiunii către centrul sistemului.

Izobara exterioară de referință este de obicei 1010 mb.

Vântul are o mişcare de la exterior spre centru sau î*n sens invers acelor de ceasornic* (pentru emisfera noastră).

Făcând o paralelă între izobare şi *curbele de nivel* putem asemăna ciclonul cu o *depresiune orografică sau o căldare* (vezi Fig. 8.10.).

8.6. Anticiclonul

Se mai numeşte *centru de maximă presiune şi este o formă barică caracterizată prin creşterea presiunii de la exterior spre centrul sistemului*.

De obicei izobara exterioară care delimitează sistemul este de 1020mb.

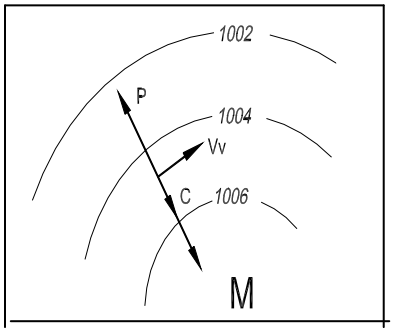
În anticiclon *vântul bate de la centru spre exterior în sensul acelor de ceasornic rotindu-se totodată în jurul său* (vezi Fig. 8.10)

Comparându-l cu formele de relief, *anticiclonul ar fi analog munților izolați sau mameloanelor*. Acest lucru este posibil deoarece în reprezentarea topografică şi valoarea curbelor de nivel creşte spre centrul reprezentării. Pe hărțile *sinoptice, ciclonul se notează cu D iar anticiclonul cu MB sau M*.

Talvegul baric (T) este analog unei văi topografice şi se caracterizează prin izobare în formă de "V". Cotele izobarice descresc din exterior spre valea talvegului.

Dorsala anticiclonică este o prelungire a anticiclonului şi are izobarele în formă de "U", ale căror cote cresc de la margine spre axa mediană a dorsalei.

Şaua barică este analoagă şeii ce leagă două masive muntoase. Izobarele cresc din exterior spre axa şeii.



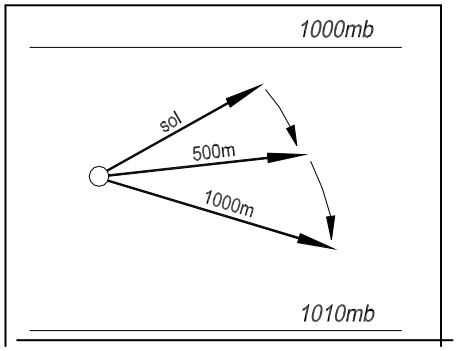


Fig. 8.11. Vânt de gradient Fig. 8.12 Rotirea vântului în altitudine

8.7. Diferența de direcție şi de intensitate a vântului la sol şi în altitudine

Ştim că vântul reprezintă mişcarea orizontală a aerului față de suprafața terestră. Ca să se producă această mişcare, este necesară o forță.

În cazul aerului, forța care produce mişcarea orizontală este diferența de presiune. Această diferență, raportată la o unitate de lungime (se ia ca unitate de lungime un grad de latitudine care este echivalent cu 111km) se numeşte *gradient baric*.

Mişcarea aerului produsă de forța de gradient a presiunii este perpendiculară la izobare (sau izohipse în altitudine).

Datorită mişcării de rotație a pământului intră în funcțiune forța lui Coriolis, aerul fiind deviat, în emisfera nordică, spre dreapta direcției sale de mişcare (vezi Fig. 8.11.).

În mişcarea maselor de aer la sol intervine şi *forța de frecare* care va avea ca efect schimbări de direcție şi de viteză datorate neuniformității solului.

Forța Coriolis se combină cu forța de frecare pentru a echilibra forța de presiune.

Datorită forțelor menționate mai sus, dacă privim o hartă sinoptică, vom vedea că la sol vântul face un unghi de 30° față de izobare, izohipse la înălțime (vezi Fig. 8.12.).

Având în vedere ca odată cu creşterea înălțimii forța de frecare scade (la 1000 m devine neglijabilă), vântul apare paralel cu izohipsele datorită mişcării aerului spre dreapta în emisfera nordică (forța Coriolis). În acelaşi timp viteza creşte.

Ținând seama de *efectul de deviere şi rotire a vântului* se poate spune (în timpul zborului, pentru emisferea nordică) că *atunci când vântul este de spate* (la sol şi în altitudine), *presiunea joasă este în stânga* (vezi Fig. 8.10.).

8.8. Tipuri de vânt

A. În funcție de structură vom avea: vânt laminar şi vânt turbulent;

a. vânt laminar;

În situația când vântul are o mişcare uniformă, atât în ce priveşte viteza cât şi direcția, scurgerea aerului făcându-se în straturi paralele, spunem că avem vânt laminar.

b. vânt turbulent;

În cazul când întâlneşte obstacole, vântul suferă variații în ceea ce priveşte direcția şi intensitatea, devenind vânt turbulent.

Uneori, față de viteza medie vântul poate prezenta creşteri bruşte de viteză sau salturi ce poartă denumirea de rafale. Pentru ca vântul să fie considerat rafalos este necesar ca durata unei rafale să nu depăşească două minute. Peste 12m/s, vântul devine supărător pentru navigația aeriană, mai ales atunci când are caracter de vijelie.

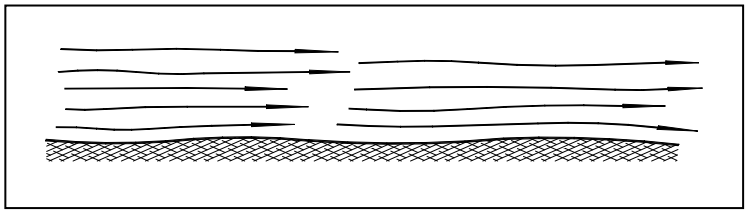


Fig. 8.13. Vânt laminar

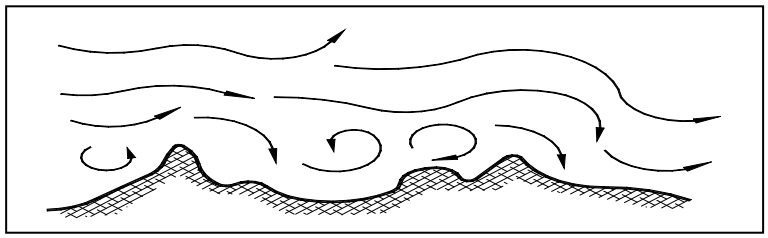


Fig. 8.14. Vânt turbulent

B. Vânturi periodice şi regulate;

Din observațiile şi studiile făcute s-a văzut că, în anumite zone ale globului, vântul are un caracter *permanent şi regulat*. Astfel în zonele dintre ecuator şi tropice, suflă *vânturile alizee*. În zona asiatică şi Oceanul Indian se produc *vânturi sezoniere numite musoni* (de ex: musonul indian).

C. Vânturi locale;

Datorită configuarției solului foarte diferită, care detemină încălziri diferite, iau naştere vânturi locale, cum ar fi:

a. *brizele marine, care sunt mişcări ale aerului pe orizontală determinate de încălzirea diferită a uscatului față de mare* (vezi Fig. 8.15).

Aceste mişcări sunt ziua de la mare spre uscat (*briza de mare*) iar noaptea de la uscat spre mare (*briza de uscat*).

Acest lucru se datorează faptului că uscatul se încălzeşte mai repede ziua şi se răceşte mai repede noaptea.

Brizele de mare se simt pe continent până la cca. 10-15 km distanță de apă şi au o viteză de aproximativ 5 km/h.

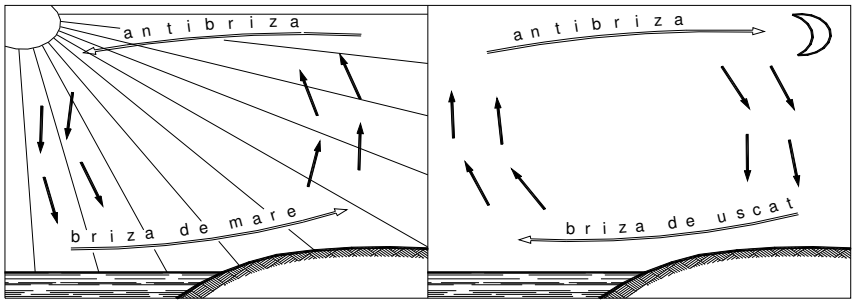


Fig. 8.15. Briza de mare

b. *briza de munte (vântul catabatic) ia naştere în zonele muntoase şi este determinată de răcirea mai rapidă a crestelor noaptea*; aerul rece coboară pe pantă la vale, iar ziua în condiții de insolatie, crestele se încălzesc, aerul devenind mai puțin dens fiind înlocuit de aerul mai rece de pe vale care urcă spre creste. Astfel ia naştere briza de vale.

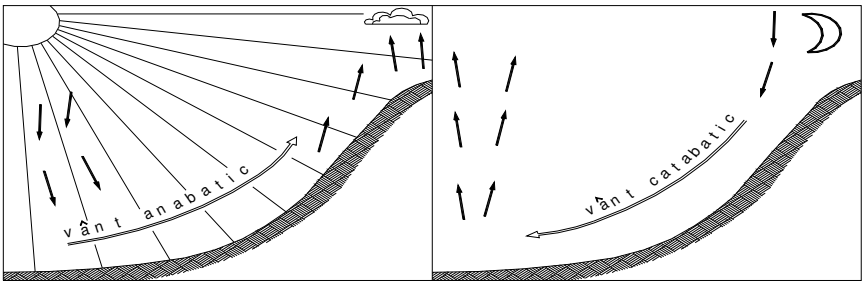


Fig. 8.16. Briza de munte

c. *efectul de fohn* se produce atunci când, din diferite cauze, pe doi versanți ai unui munte avem diferență de presiune (pe unul maxim şi pe altul minim), aerul mai dens urcă pe munte şi coboară pe partea cealaltă a acestuia (vezi Fig. 8.17).

Aerul antrenat pe panta ascendentă se răceşte după adiabata uscată (se răceşte cu 1°C/100m), până la saturație, când, prin condensare, eliberându-se căldura latentă, se va răci după adiabata umedă (0,5°C/100m).

Pe creastă norul se precipită sau îşi urmează calea pe orizontală, iar un fileu de aer uscat coboară cu panta. La coborâre, prin comprimare aerul se încălzeşte şi fiind uscat, se va încălzi după adiabata uscată (1°C/100m).

Vântul cald şi uscat care coboară pe panta unui munte reprezintă efectul de fohn.

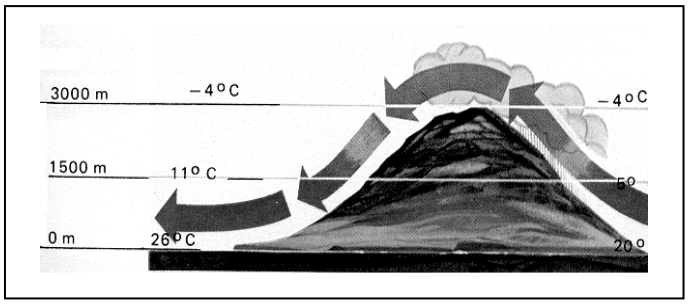


Fig. 8.17. Efectul de fohn

Astfel, în urma acestui efect, la piciorul pantei, în partea de sub vânt aerul este mai cald decât cel de la piciorul pantei din vânt.

La noi în țară există multe zone în care se resimte efectul de fohn cum ar fi: vântul mare din Făgăraş (mâncătorul de zăpadă), în Podişul Mehedinți, zona Caransebeş, etc.

d. *undele orografice*.

În timp ce la efectul de fohn aerul urcă şi apoi coboară pe celălalt versant, aici coborârea este rareori laminară (urmărind profilul reliefului), frecvent însă devine turbionară. Din acest motiv scurgerea este perturbată, perturbare ce se resimte până la de 3-4 ori înălțimea obstacolului în funcție de următorii factori:

- vântul suflă dinspre munte dintr-o direcție de până la 30° față de perpendiculara la sistemul noros, direcție care se menține constantă până la creastă;
- existența unui sistem noros cu înălțimi apreciabile şi pante accidentate;
- intensitatea vântului la piciorul pantei este de peste 8m/s şi se măreşte spre creastă;
- existența unei atmosfere cu stratificare termică stabilă (existența unei zone de izotermie sau inversiune);
- perturbarea atmosferei (deformarea curentului aerian) nu se limitează la straturile de aer învecinate crestelor, ci se resimte până la distanțe mari față de crestele muntoase, în partea de sub vânt.

Sub aceste *mişcări ondulatorii ale maselor de aer deformate*, apar deseori *zone turbionare* pe axa orizontală față de creste, turbioane numite *rotori*.

Turbulența în cadrul acestor zone este deosebit de intensă, curenții verticali, în vecinatatea rotorilor şi mai ales în interiorul lor poate depăşi 8 m/s (vezi Fig. 8.18.).

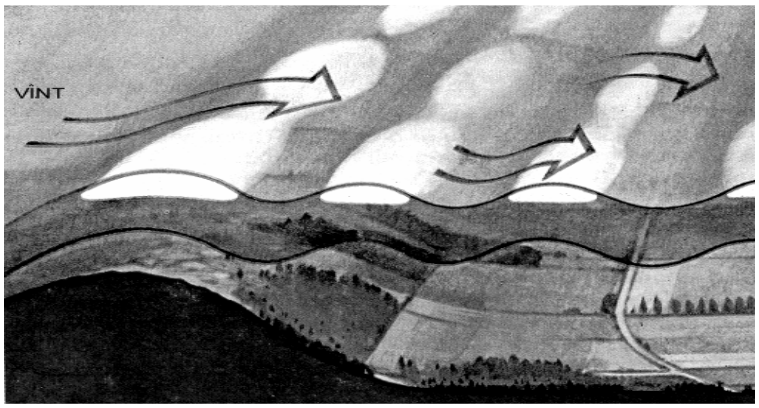


Fig. 8.18. Undele orografice

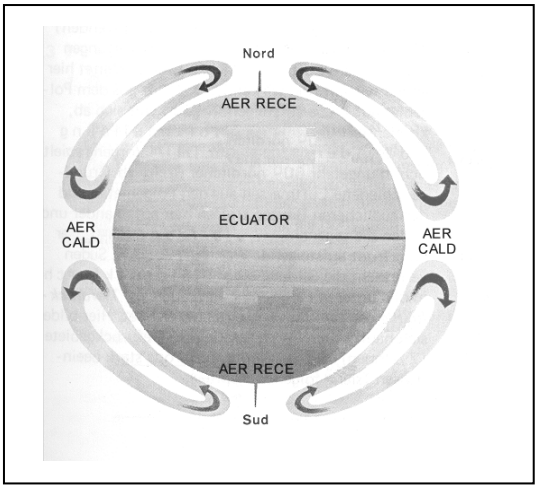


Fig. 8.19. Circulația atmosferei

La noi în țară din cauza influențelor climatice din Europa Centrală şi Bazinul Mediteranei, întâlnim o gamă variată a vânturilor locale:
- *Crivățul* este vântul cel mai specific în Moldova, Dobrogea, sudul şi estul Munteniei şi suflă în special iarna;
- *Austrul* suflă dinspre sud în zona Olteniei, Banatului, Crişanei, ajungând în Moldova ca un vânt cald, uscat, aducând geruri mari;
- *Nemirul* suflă în depresiunile din estul Tansilvaniei şi a Braşovului fiind considerat ca o prelungire a crivățului care se strecoară prin trecătorile Carpaților Orientali.

8.9. Circulația generală a aerului

După cum am văzut, mişcarea aerului este cauzată de repartiția inegală a presiunii atmosferice, *aerul deplasându-se din regiunile anticiclonice către cele ciclonice în straturile inferioare şi invers în păturile mai înalte*.

Cauza principală care provoacă o distribuție inegală a presiunii pe glob este încălzirea neuniformă a suprafeței terestre. Pe glob există un focar permanent de căldură (zonă intertropicală) şi două focare de frig (calotele polare).

Circulația generală a atmosferei este prezentată în Fig. 8.19. unde se observă că aerul rece de la poli se îndreaptă spre zonele tropicale, iar pentru înălțime o importanță deosebită o au *curenții jet*.

9. Norii

Sunt constituiți din picături fine de apă sau cristale de gheață suspendate în atmosferă.

Norii au forme şi mărimi diferite foarte variate iar culoarea şi strălucirea se datoresc difuzării razelor soarelui în mod diferit.

Condițiile pentru formarea norilor sunt condensarea şi sublimarea vaporilor de apă care trebuie să aibă un stadiu de saturație avansat şi să conțină nucleele de condensare (sublimare). Condensarea şi sublimarea se realizează în natură prin:

- radiație (radiația nocturnă);
- convecție şi mişcare ascendentă;

*Radiația solului î*n timpul nopții produce răcirea aerului în urma căreia se va produce condensarea care va da norii cu plafon jos sau ceața.

Mişcările de convecție pot fi termice (datorită încălzirii neuniforme a solului) sau dinamice (când aerul urcă pe panta unui munte sau când aerul rece în deplasare întâlneşte o masă de aer cald pe care îl sileşte să se ridice brusc).

9.1. Clasificarea norilor

a. *după componența particulelor* se clasifică în:
- nori de apă;
- nori de gheață (zăpadă);
- nori micşti.

b. *după geneză* se clasifică în:
- nori *stratificați* formați în condiții de atmosferă stabilă (cum sunt: Ci, Cs, As, Ns, St), în cazul frontului cald sau condiții anticiclonice;
- nori *ondulați* formați în condiții de turbulență pe o anumită grosime (redusă) a atmosferei : Ci, As, St;
- nori *convectivi* formați prin convecție termică sau dinamică (Cu, Cb).

c. *după înălțimea bazei* față de sol vom avea 3 etaje:
- *etajul inferior* cu baza între 0-2km: St, Ns, Sc, Cu, Cb. Norii Nimbostratus au baza în etajul inferior, iar masa predomină în etajul mijlociu. Norii Cumulus şi Cumulonimbus (Cu şi Cb) au baza la nivelul inferior, dar vârfurile pot atinge nivelul mijlociu sau chiar superior;
- *etajul mijlociu* cu baza norilor între 2-5 km (Ac, As, Ns);
- *etajul superior* cu baza între 5-13 km (Ci, Cs, Cc);

d. *după forma* pe care o pot avea se clasifică în:
- nori sub *formă de val-strat continuu şi uniform* mai mult sau mai puțin dens;
- nori *fragmentați în*: lamele, filamente, lespezi, grămăjoare.

9.2. Descrierea genurilor de nori

A. Cirrus (Ci) sunt nori separați cu aspect de filamente sau fibre albe şi subțiri, bezi transparente şi sunt formați din cristale albe de gheață;

B. Cirrocumulus (Cc) sunt nori sub formă de pături sau bancuri subțiri, dând cerului un aspect vălurit (nori sub formă de valuri, asemănători unei plaje cu nisip). Ei apar şi dispar rapid. Sunt transparenți şi sunt formați din cristale fine de gheață.

C. Cirrostratus (Cs) au un aspect văluros, mult mai albicios şi pot ocupa parțial sau total bolta cerească, sunt constituiți din cristale fine de gheață. Uneori sunt atât de subțiri încât pe cer trec aproape neobservați, dând acestuia un aspect alb-laptos. Generează fenomenul de *hallo* (un cerc sau un semicerc colorat în violet slab spre exterior şi roşu spre interior).

D. Altocumulus (Ac) sunt grupări de nori albi sau cenuşii cu aspect vălurit sau sub formă de rulouri, şiruri sau benzi de culoare albă până la cenuşiu deschis. Sunt constituiți din picături de apă sau picături şi cristale fine de gheață. La răsăritul şi apusul soarelui se colorează în roşu aprins. Nu produc precipitații.

Fig. 9.20. Norii Cirrus

Fig. 9.21. Norii Cirrostratus

E. Altostratus (As) formează pânze albăstrii sau cenuşii cu aspect valurit, striat, fibros sau uniform, acoperind parțial sau total cerul. Sunt constituiți din picături sau picături şi cristale fine de gheață. Produc rar precipitații slabe, care iarna ajung la sol sub formă de fulguială slabă, iar vara acestea se evaporă în atmosferă.

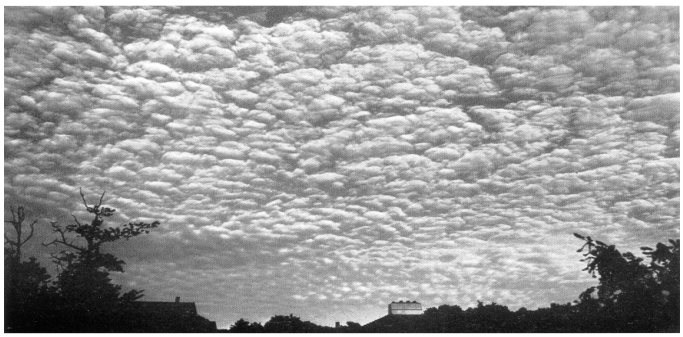


Fig. 9.22. Norii Altocumulus

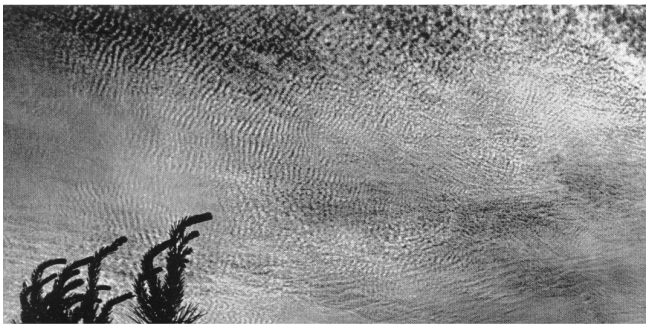


Fig. 9.23. Norii Cirrocumulus

F. Nimbostratus (Ns) *apar sub formă de pânze în strat gros de nori cenuşii, sumbri, cu aspect vaporos*. Aceşti nori produc precipitații continue sub formă de ploaie sau ninsoare. Au baza la nivelul inferior iar partea superioară la peste 5-7 km. Datorită acestei grosimi, apa se găseşte aici în toate stările ei. Vizibilitatea în norii Ns este scăzută datorită picăturilor mari şi dense.

G. Stratocumulus (Sc) su*nt nori sub formă de pături sau bancuri (benzi) cenuşii sau albicioase cu aspect ondulat*. Ei se formează dimineața şi seara. Ziua se resorb. Din aceşti nori pot să cadă precipitații slabe sub formă de ploaie sau ninsori cu fulgi mici şi rari.

H. Stratus (St) *nori sub formă de pânză continuă, pături destul de dense* cu o bază uniformă şi joasă uneori atingând solul. Sunt constituiți din picături fine de apă iar iarna pot fi formați din cristale fine de gheață. Dau precipitații sub formă de burniță (ace de gheață).

Fig. 9.24. Norii Nimbostratus

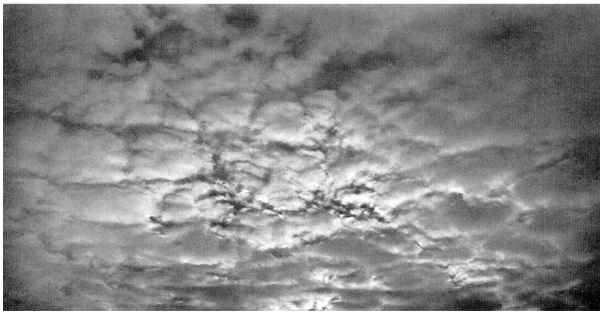


Fig. 9.25. Norii Stratocumulus

I. Cumulus (Cu) sunt *nori cu un contur bine determinat asemănători unor grămăjoare de vată*. Au culoarea albă, cu partea superioară strălucitoare, iar baza sumbră. Se dezvoltă pe verticală sub formă de *domuri şi turnuri*. Norii Cu se dezvoltă în cursul zilei sub acțiunea curenților termici convectivi. De aceea, *norii Cu au o variație diurnă, apar dimineața, se dezvoltă în cursul zilei şi se*

resorb seara. În cazul unei atmosfere instabile norii Cu se dezvoltă în continuare sub următoarele forme:

Fig. 9.26. Norii stratus

Fig. 9.27. Norii Cumulus congestus

- Cumulus *humulis* (Cu hum) sunt *nori de timp frumos, totdeauna albi şi subțiri, dispuşi în petece cu spații largi între ei*;

- Cumulus mediocris (Cu med) cu o dezvoltare mai mare pe verticală, albi strălucitori. Nu dau precipitații;

- Cumulus congestus (Cu con) cu o dezvoltare apreciabilă pe verticală, cu părți albe şi cenuşii. Dau precipitații sub formă de averse;

J. Cumulonimbus (Cb) sunt nori denşi şi dezvoltați cu extindere mare pe verticală, cu forme de munte sau turnuri enorme. Baza şi mijlocul norului sunt întunecoase şi sumbre, vârful vizibil, fibros, sub formă de creneluri, nicovală. La latitudini medii vârful poate depăşi nivelul tropopauzei (12-15 km). Norii Cb dau averse de ploaie, lapoviță, ninsoare sau grindină. În aceşti nori, apa se găseşte în cele trei stări de agregare: lichidă (picături de apă), vapori şi cristale de gheață. Aversele care cad din aceşti nori sunt însoțite de *fenomene orajoase* (descărcări electrice).

Norii Cb sunt foarte periculoşi zborului datorită tubulenței şi a curenților ascendenți-descendenți foarte puternici (15-35 m/s).

Fig. 9.28. Norii Cumulonimbus

Fig. 9.29. Norii Altostratus

9.3. Nebulozitatea şi plafonul

Fracțiunea de cer acoperit de nori sau cantitatea de nori vizibili de la sol constituie *nebulozitatea*, care se determină de observator. Nebulozitatea se măsoară în optimi din suprafața cerului (ex: cer acoperit complet 8/8, cer partial acoperit 3/8, etc.). Nebulozitatea totală reprezintă fracțiunea de cer ocupată de toți norii vizibili. Nebulozitatea parțială reprezintă fracțiunea ocupată de un gen de nori (ex: 3Ci, 2As, 7Cu, 8Cb, 8Ns).

Plafonul reprezintă înălțimea bazei norului la verticala locului. Se măsoară cu balonul, prin radiosonadaje, cu ceilometrul sau cu proiectorul de nori.

10. Precipitațiile atmosferice

Prin *precipitație* se înțelege apa care cade din nori, indiferent de formă (starea sub care se prezintă). Precipitațiile fac parte din hidrometeori.

Cauzele formării:

Vaporii de apă condensați sub formă de picături fine (având diametrul cuprins între 0,01 mm şi 0,05 mm) sau cristalele de gheață, de asemenea foarte fine, care intră în componența norilor, pentru a da naştere hidrometeorilor (mii de picături fine) se unesc şi, datorită greutății, cad pe pământ.

Ploaia este formată din picături de apă cu un diametru mai mare de 0,5 mm. Picăturile sunt dispersate şi au o viteză de cădere de 2-5 m/s. În mod obişnuit, ploaia cade din Nimbostratus, Stratus şi Stratocumulus.

Este periculoasă pentru aviație, întrucât micşorează vizibilitatea, înfundă conductele instrumentelor de bord, se depune pe aeronavă şi îngheață uneori.

Lapovița este o formă de precipitație formată dintr-un amestec de picături de ploaie şi fulgi de zapadă, care cade din norii Nimbostratus.

Zăpada (ninsoarea) este constituită din cristale ramificate, uneori sub formă de steluțe. Se produce din aceiaşi nori ca şi ploaia.

Burnița este o formă lichidă de precipitație (picături mici şi dese de apă cu diametrul sub 0,5 mm). Poate să cadă din norii Stratus, Nimbostratus şi uneori din norii Stratocumulus. **Aceasta este periculoasă când îngheață deoarece formează polei.**

Măzărichea este formată din grăunțe de gheață cu diametrul de aproximativ 0,2-0,5 mm.

Grindina este constituită din particule sau bucăți de gheață cu diametrul între 5-50 mm. Uneori poate fi sub formă de blocuri-plăci. Este produsă de norii Cumulonimbus (Cb). **Şi aceasta este foarte periculoasă pentru aviație.**

Aversa este o precipitație lichidă sau solidă (cade din Cb sau din Cu con) şi se caracterizează prin cantitatea mare de apă în timp mic.

Ca precipitații, se mai pot exemplifica: *pâcla, ceața, etc*.

11. Stările de echilibru ale atmosferei

Procesele fizice şi fenomenele meteo din atmosferă sunt în strânsă legătură cu stabilitatea atmosferei.

Atmosfera este *instabilă* atunci când mişcările verticale care se produc se propagă de la un nivel la altul (curenții ascendenți tind să-şi continue mişcarea impulsionați de o accelarație nouă).

Atmosfera este *stabilă* atunci când mişcările verticale produse la un moment dat, nu pot să se dezvolte şi deci încetează (curenții ascendenți formați în urma unui impuls oarecare se vor opri din mişcarea acensională).

Pentru a explica mai bine ce se întâmplă în cazul unei atmosfere stabile sau instabile, trebuie să arătăm că în cadrul radiosondajelor care se execută la anumite ore din zi se urmăreşte şi scăderea temperaturii cu înălțimea. Această scădere se trasează pe o diagramă aerologică. Totodată, trebuie specificat faptul că în interiorul unei mase de aer care urcă, scăderea de temperatură se realizează după gradientul adiabatic uscat (temperatura scade cu 1°C/100 m), iar după condensare, scăderea se produce după gradientul adiabatic saturat (temperatura scade cu 0,5°C/100 m).

Considerând o particulă de aer la nivelul solului în echilibru prin ridicare ea va suferi unele schimbări (scade temperatura). În funcție de temperatura particulei şi a mediului vom întâlni următoarele situații:

- temperatura aerului înconjurător este mai mare decât temperatura particulei ridicate de la sol. În acest caz particula este antrenată într-o mişcare descendentă, revenind în poziția inițială. Este cazul *echilibrului stabil*;
- temperatura aerului înconjurător este mai mică decât temperatura particulei. În acest caz particula este antrenată într-o mişcare ascendnetă, tinzând să se depărteze de la poziția inițială de echilibru (nivelul solului). Este cazul *echilibrului instabil*;
- temperatura aerului înconjurător este egală cu temperatura particulei. În acest caz nefiind supusă unei forțe (diferența de presiune, respectiv temperatură), particula rămâne în echilibru la nivelul egalității temperaturii. Este cazul *echilibrului indiferent*.

În urma sondajului se determină gradientul termic vertical al mediului şi trasându-se pe o diagramă aerologică vom găsi următoarele situații:

- gradientul termic vertical real este mai mare decât gradientul adiabatic uscat (gradientul termic real se află la stânga adiabatei uscate); Este cazul *echilibrului instabil uscat*;
- gradientul termic vertical real este mai mic decât gradientul adiabatic saturat (gradientul termic real se află la dreapta adiabatei saturate); Este cazul *echilibrului stabil saturat*;

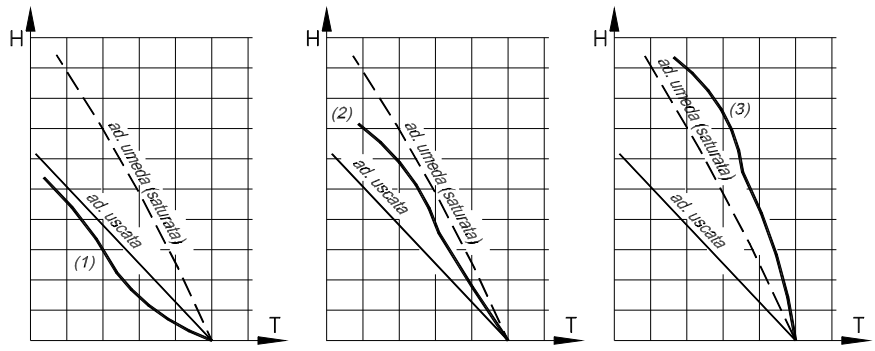


Fig. 11.30 Diagrame aerologice

- când gradientul termic vertical real este egal cu gradientul adiabatic uscat, echilibrul este *indiferent în aer uscat*.

- gradientul termic vertical real este mai mic decât gradientul adiabatic saturat (gradientul termic real se află la dreapta adiabatei saturate); Este cazul *echilibrului stabil saturat*;
- când gradientul termic vertical real este egal cu gradientul adiabatic uscat, echilibrul este *indiferent în aer uscat*.

12. Curenti verticali (ascendenți şi descendenți)

După cauzele care le determină se cunosc trei feluri de mişcări ascendente şi anume:

a. *Mişcări ascendente şi descendente convective*, datorate încălzirii neuniforme a pământului. În situația când insolația este puternică şi solul este omogen apar mişcări de convecție.

Aceste mişcări se caracterizează prin faptul că *au o zonă centrală ascendentă, o zonă descendentă la exteriorul curentului* şi o zonă convergentă la baza descendenței.

Curenții ascendenți se mai numesc şi *curenți termici*. Aceştia se mai caracterizează şi prin faptul că în zona divergentă de la vârful mişcării iau naştere norii Cu de apă, datorită răcirii adiabatice a masei de aer ascendentă.

b. *Mişcările ascendente produse prin alunecare* apar atunci când masa de aer în deplasare este obligată să urce panta unui deal sau munte.

Se întâlnesc următoarele situații:

- o masă de aer cald urcă peste o masă de aer rece (front cald);
- o masă de aer rece în mişcare dislocă o masă de aer cald pe care o obligă să urce (frontul rece);
- o masă de aer urcă pe o pantă orografică, curentul ascendent încetează odată cu atingerea vârfului pantei.

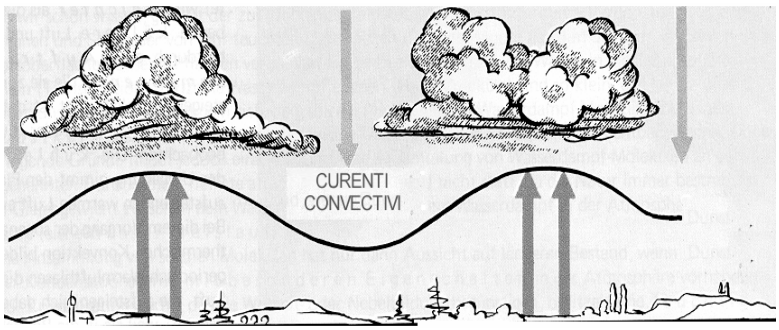


Fig. 12.31. Curenți convectivi

Fig. 12.32. Curent ascendent prin alunecare

c. *Mişcări ascendente produse de turbulența dinamică*;

O masă de aer în mişcare urcă panta unui obstacol ajungând astfel deasupra stratului stabil de la sol. Datorită impulsului de mişcare şi datorită faptului că stratificarea atmosferei spre vârful obstacolului este instabilă, masa de aer continuă să urce dând naştere unui *curent ascendent termic*.

Masele de aer fiind rău conducătoare de căldură, în urcare se vor destinde în mod adiabatic (fără schimb de căldură cu exteriorul) datorită scăderii presiunii atmosferice şi din această cauză se vor răci.

Scăderea temperaturii în interiorul masei ascendente se produce după gradientul termic uscat până la *nivelul de condensare* şi apoi scăderea temperaturii, în interiorul norului, se produce după gradientul umed.

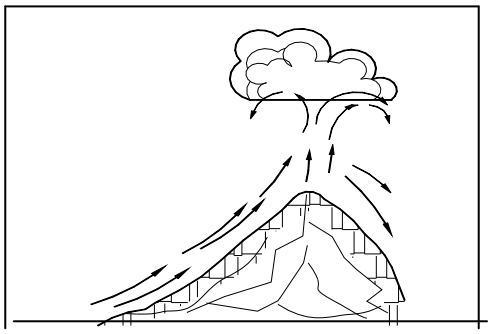


Fig. 12.33. Curentul ascendent termodinamic

12.1. Condițiile de formare a ascendențelor

Condițiile de formare a ascendențelor depind de starea de echilibru a atmoferei (vezi Fig. 12.34.)

După cum am văzut, *ascendențele se pot forma numai în situația unei atmosfere instabile*, când un rezervor de aer cald (cu o diferență de 2-3^{o}C față de mediul ambiant) primeşte un impuls şi începe să urce.

Scăderea temperaturii se produce urmărind adiabata uscată (iar după condensare, urmărind adiabata umedă) şi ascensiunea va continua până când particula de aer întâlneşte un strat stabil (inversiune sau izotermie). În acest moment, se spune că am atins *nivelul de echilibru*.

Dacă totuşi instabilitatea continuă şi în interiorul norului dezvoltarea acestuia se va face până la înălțimi mari.

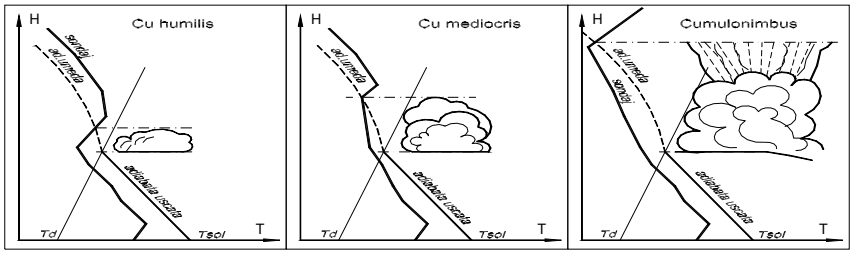


Fig. 12.34 Formarea curentului ascendent

12.2. Norii de formaţie verticală

Familia norilor de convecţie (de formaţie verticală) au baza în etajul inferior şi o extensie verticală, variabilă în funcţie de stratificarea atmosferei, care poate ajunge la limita inferioară a tropopauzei (nori cumulonimbus).

Norii de convecţie au, de obicei, conturul pronunţat şi baza orizontală. Ei se formează cel mai frecvent în anotimpul cald.

Norii convectivi sunt nori din familia Cumulus (Cumulus humilis, Cumulus mediocris, Cumulus congestus) şi Cumulonimbus.

În interiorul norului Cb apar curenţi ascendenţi şi descendenţi foarte puternici, care produc o *turbulenţă termică* (aceasta este maximă la o înălţime cuprinsă între 3-7 km), apa este în stare *suprarăcită* (atinge uneori -20 ^{o}C), dar se găsesc şi cristale de gheaţă.

Aceste picături de apă se unesc şi dau picăturile de ploaie, care pot atinge diametrul de 5 mm.

Datorită faptului că norul Cb conţine picături de apă şi în acelaşi timp şi cristale de gheaţă, aici se vor găsi şi sarcini electrice, distribuite de regulă astfel:

- cele pozitive la înălţimi unde temperatura este sub punctul de îngheţ;
- cele negative în centrul norului (în apropierea izotermei de 0^{o}C);
- la baza norului se vor găsi zone locale cu sarcini pozitive.

Diferenţa de potenţial dintre aceste sarcini poate depăşi mii de volţi. Din cauza acestor diferenţe de potenţial iau naştere descărcări electrice (*fulgere*) între 2 nori, în interiorul aceluiaşi nor, sau *trăsnete* – descărcări electrice între un nor şi sol.

Nivelul de condensare este înălţimea la care cantitatea de vapori de apă devine saturată pentru temperatura corespunzătoare înălţimii respective.

Temperatura la care apare condensarea se numeşte temperatura punctului de rouă.

Nivelul de convecţie este înălţimea la care poate să ajungă un curent ascendent în urcare.

13. Fronturile atmosferice

Atmosfera, după câte s-a văzut, nu este omogenă fiind împărţită în mase de aer calde sau reci.

De la o masă de aer la alta se trece printr-o zonă de tranziţie lentă şi continuă. Alteori, când aceste mase nu s-au amestecat în zona lor de contact, trecerea este bruscă. În acest caz, *regiunea care separă cele 2 mase de aer este subţire şi poate fi considerată ca o suprafaţă de contact numită şi suprafaţă frontală*.

Această suprafaţă frontală nu este verticală, ci prezintă o înclinare din cauza aerului mai cald care, fiind mai uşor, urcă peste aerul rece, mai greu. *Linia, sau banda de la sol aflată la intersecţia suprafeţei frontale cu suprafaţa solului se numeşte linia frontului*.

13.1. Frontul cald

Este frontul în lungul căruia aerul cald în deplasare înlocuieşte aerul rece.

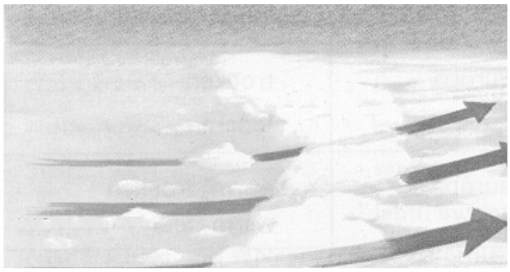
Suprafaţa frontală dintre cele 2 mase de aer are o pantă de ordinul 1/200-1/1000.

Apropierea frontului cald este marcată în primul rând de apariţia pe cer a sistemelor noroase care sunt dispuse în următoarea succesiune: Ci, Cs, As, Ns. Fronturile calde apar cu precădere în zonele depresionare.

Dacă *ciclonul* este în destrămare, atunci pe cer predomină nori Ac.

Din norii As, Ns, Ac, cad, de regulă, precipitații continue, banda acestora întinzându-se între 80-300 km.

Temperatura în urma frontului este cu cel putin 2°C mai ridicată decât în fața frontului.



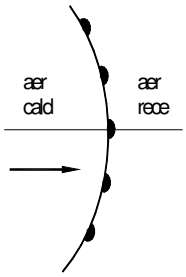


Fig. 13.35. Frontul cald

Presiunea suferă o scădere înaintea frontului şi o scădere uşoară sau staționară în urma frontului.

Vântul suflă în fața frontului din sectorul SSV, iar după trecerea frontului, suflă din W.

Fronturile calde sunt însemnate pe hărțile sinoptice cu culoare roşie sau cu linii negre cu semicercuri trasate pe partea de înaintare a frontului. În timpul iernii, în fața frontului cald, pe o lățime de 150-200 km, va apărea *ceața*.

13.2. Frontul rece

Este frontul în lungul căruia aerul rece în deplasare înlocuieşte aerul cald. Panta suprafeței frontale dintre cele 2 mase de aer este de ordinul 1/10-1/200.

Pe hărțile sinoptice, fronturile reci sunt trasate cu culoarea albastră sau cu linii negre având triunghiuri pe partea înspre care se deplasează linia frontului.

Frontul este însoțit uneori de sisteme noroase stabile, dar cel mai frecvent de sisteme noroase instabile cum ar fi : Cc, Ac, Cu, Cu con, Cb.

După tipul sistemului noros precipitațiile pot fi continue când aerul din față este stabil şi cel mai frecvent sub formă de averse când aerul este instabil.

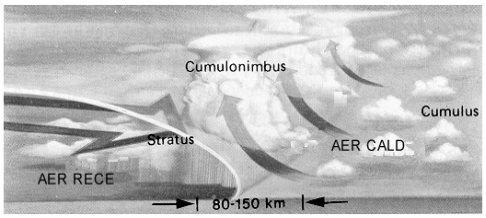
Banda de precipitații este de cca. 70 km.

Temperaturile sunt ridicate în fața frontului şi mai scăzute în spatele frontului cu cel putin 4-5°C.

Presiunea înaintea frontului pezintă o scădere (sau cel mult staționează), iar după trecerea frontului creşte mult.

Vântul: înaintea frontului suflă din W, iar după trecerea lui suflă din NW, intensificându-se. Când frontul este însoțit de nori Cb, se înregistrează vânt în rafale.

Umezeala relativă creşte la maximum în momentul trecerii frontului şi scade în spatele lui.



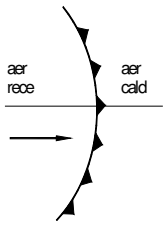


Fig. 13.36. Frontul rece

13.3. Frontul oclus

Datorită *vitezei de deplasare diferită a fronturilor* amintite mai sus (frontul rece se deplasează cu viteză mult mai mare față de frontul cald), în partea centrală sau mai des î*n sectorul posterior depresiunii, frontul rece se va uni cu cel cald*.

Din această joncțiune va lua naştere frontul oclus în care aerul cald existent între cele două fronturi principale va fi aruncat în altitudine, iar la sol se va produce contopirea celor două mase de aer rece (din fața frontului cald şi din spatele frontului rece).

Dacă aerul din fața frontului cald este mai rece decât cel din spatele frontului va lua naştere *frontul oclus cu caracter de front cald* (vezi Fig. 13.37.), caracterizat prin prezența norilor stratiformi şi cumuliformi care acoperă cerul pe vaste întinderi şi dau precipitații de lungă durată care au şi caracter de ploi torențiale.

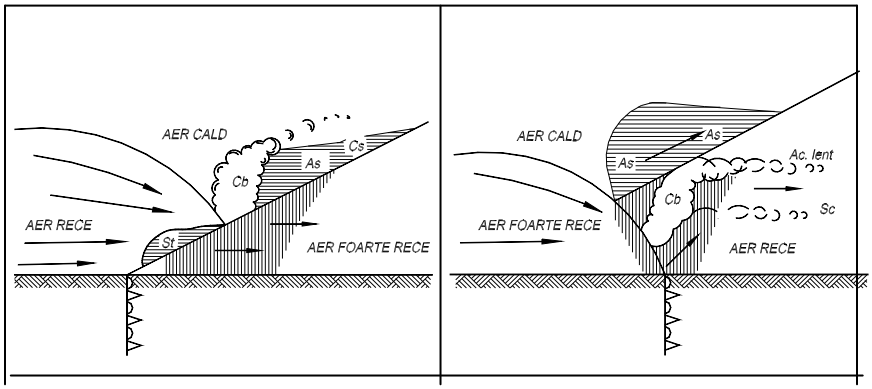


Fig. 13.37 Frontul oclus cald Fig. 13.38. Frontul oclus rece

După trecerea acestui front cerul rămâne noros cu nori stratocumulus, iar temperatura staționară.

Dacă aerul din fața frontului cald este mai cald decât aerul din spatele frontului rece va lua naştere *frontul oclus cu caracter de front rece* (vezi Fig. 13.38.). Şi în acest caz nebulozitatea este mare, dar pe lângă norii stratiformi apar norii Cb care urcă până la 5000-6000m, determinând precipitații abundente deseori cu caracter de averse.

După trecerea frontului cerul devine variabil, cu înseninări accentuate, iar temperatura scade.

Frontul oclus cu caracter neutru este frontul care se produce mai rar şi numai în cazul când aerul rece anterior şi cel posterior au aceeaşi temperatură.

Aceste fronturi au o durată mult mai mică.

Fronturile ocluse apar pe harta sinoptică colorate în violet sau prin linii negre cu semicercuri şi triunghiuri spre partea în care se deplasează.

14. Informarea meteorologică

Planoriştii sunt foarte interesaţi să ştie ce condiţii meteo vor avea în ziua respectivă încă de dimineaţă. Acest lucru îl vor afla atât din observaţiile directe cât şi din buletinele meteo pe care le vor obţine de la televiziune, radio sau de la staţiile meteo din reţeaua meteorologică naţională.

Schimbările de timp le vom observa în mod direct după aspectul cerului, tipul de nori prezenţi, direcţia şi intensitatea vântului, modificările de temperatură, presiune şi umezeală. Totodată toate fiinţele ne vor furniza informaţii privind schimbările de timp, ştiind că acestea sunt sensibile la aceste modificări.

Astfel:

- oamenii bolnavi de reumatism vor avea de suportat dureri la încheieturi când se apropie ploaia (scade presiunea şi creşte umezeala);
- musculiţele şi ţânţarii vor căuta să intre în casă când se apropie ploaia;
- albinele când simt apropierea ploii se vor agita în jurul orificiilor de intrare în stup;
- furnicile se întorc grăbite la furnicar, intră înăuntru şi blochează intrarea;
- când rândunelele zboară aprope de pământ înseamnă că ploaia va veni în curând (acest lucru se întâmplă datorită faptului că atunci când creşte umezeala, aripile musculiţelor cu care se hrănesc se umezesc, zborul lor devine greoi şi rândunelele le vor vâna în apropierea solului);
- vara, când observăm că vrăbiile sau turturlele se scaldă în praf ştim că se apropie ploaia (umezeala pătrunde între pene şi le îngreunează zborul, fapt care le determină să se arunce în praf pentru a-şi usca penele);
- la sate animalele se întorc singure de la păşunat pentru a se adăposti când se strică timpul.

Întrucât planoriştii depind zilnic de această condiţie meteorologică este necesar să ştie cum să interpreteze un buletin meteo sau alte informaţii de specialitate.

Totuşi înainte de a prezenta cele mai cunoscute buletine meteo utlizate în aviaţie vom prezenta câteva fenomene care ne anunţă cum va fi vremea în intervalul de timp ce urmează:

- norii Cirrus (Ci) când apar ne arată că timpul se va înrăutăţi şi funcţie de viteza cu care acoperă cerul, ploaia sau ninsoarea se va instala după 1-3 zile;
- când se înseninează seara după o zi în care cerul a fost acoperit, a doua zi va ploua mai mult ca sigur;
- când vântul suflă relativ liniştit, iar deodată îşi sporeşte puterea şi îşi schimbă direcţia este semn de apropiere a unei depresiuni, deci ploaia va veni în curând;
- după o perioadă mai lungă sau mai scurtă de secetă, dacă dimineaţa şi seara se asează roua, atunci va ploua (a crescut umezeala aerului);
- dacă observăm umezirea sării din solniţă sau ascultând emisiunile radiofonice suntem deranjaţi de radioparaziţii produşi prin descărcările electrice din atmosferă, nu suntem departe de o ploaie violentă de multe ori cu caracter de aversă;
- când observăm ziua în jurul soarelui sau seara în jurul lunii fenomenele de *coroană* sau *hallo* sub forma unor cercuri, în cel mult 2 zile va ploua sau va ninge.

Ameliorarea vremii o vom observa după următoarele semne:
- dacă răsăritul soarelui se produce pe un cer portocaliu, ziua va fi frumos;
- când vântul împrăştie norii care au produs o ploaie puternică vor urma zile senine şi frumoase;
- apariția curcubeului după ploaie reprezintă un semn de îndreptare a vremii.

Pentru informarea meteorologică în aviație se folosesc următorele mesaje:
a. METAR;
b. SPECI;
c. meteoare sinoptice;
d. prevederi de zonă;
e. emisiunea VOLMET;
f. buletinul meteo de zbor;
g. mesajul TAF;

a. **METAR**-ul reprezintă mesaj de observație meteorologică regulată pentru aviație (cu sau fără prognoză de tendință) în limbaj clar abreviat. El se emite oral de către stațiile meteo aflate pe aerodromuri şi cuprinde date reale privind situația meteo observată în zona de aerodrom. Decodificarea acestui mesaj va fi prezentată în încheierea capitolului.

b. **SPECI** este mesaj selecționat de observație meteorologică specială pentru aviație (cu sau fară prognoză de tendință), în limbaj clar abreviat, care se emite ori de câte ori se constată producerea, apariția sau ameliorarea unor fenomene periculoase zborului.

c. **Meteoarele sinoptice** (vizuale) se emit la intervale de 3 ore de către stațiile sinoptice teritoriale şi cuprind date reale privind situația meteo observată în jurul stației.

d. **Prevederile** de zonă se emit în clar de către centrele meteo aeronautice, la intervale de 3 ore şi conțin informații cu privire la situația meteo în zonă, precum şi informații cu privire la modificările de timp ce pot surveni în cele 3 ore.

e. **Emisiunea Volmet** poate fi recepționată pe frecvența de 126,8 MHz fiind transmisă în clar de către centrul meteo Otopeni.

f. **Buletinul de zbor** se întocmeşte la cererea pilotului înainte de plecarea în zbor pe ruta care o doreşte. Acest buletin face parte din documentele obligatorii la bordul aeronavei şi cuprinde atât date reale privind situația meteo pe ruta de deplasare, cât şi date privind evoluția vremii pe rută.

g. **Mesajul TAF**, asemănător cu mesajul METAR, este emis de stațiile meteo de aeroport şi cuprinde informații privind evoluția condiției meteo pe un interval de timp de 9 ore. Mesajul TAF se transmite ca şi mesajul METAR în limbaj clar abreviat, folosind acelaşi cod, cu diferența că la mesajul TAF se specifică între ce ore este valabil, în timp ce pentru mesajul METAR se specifică ora la care s-a efectuat observația meteo (citirea datelor).

14.1. Mesajul METAR (**Meteorologică** l **A**erodrome **R**eport)

lrop 181015 24003MPS 9999 BKN030 27/22 Q1017 NOSIG

În continuare prezentăm descifrarea mesajului METAR prezentat mai sus:

Prima grupă (lrop) reprezintă codul stației de aerodrom (aeroport) care l-a emis (lrop: l reprezintă Europa; r reprezintă România şi op este aeroportul Otopeni).

Grupa a doua indică ziua, ora şi minutul când a fost efectuată observația meteorologică.

În exemplul prezentat, ziua este 18, ora este 10 şi minutul este 15.

Grupa a treia (24003) reprezintă codificarea direcției şi intensității vântului. Primele trei cifre indică direcția magnetică a vântului (din 10^0 în 10^0), iar ultimele două intensitatea vântului în m/s.

În exemplul prezentat vântul suflă din 240^0 cu 3m/s.

Grupa a patra se referă la vizibilitatea orizontală pe aerodrom. Este codificată cu 4 cifre şi ne dă direct valoarea vizibilității în metri. (Exemplu: 7500 reprezintă o vizibilitate de 7500 de metri).

În exempul prezentat grupa 9999 este codificarea vizibilităților mai mari de 10 km.

Grupa a cincea codifică *nebulozitatea (gradul de acoperire cu nori),* tipul norilor şi plafonul (baza) acestora. Nebulozitatea poate avea următoarele coduri:

FEW	1-2/8
SCT	3-4/8
BKN	5-7/8
OVC	8/8

În exempul nostru avem o acoperire de 5/8 cu nori alții decât CB sau Cu congestus (TCU).

Ultimile trei cifre ale grupei indică înălțimea bazei în *picioare* (feet).

În situația prezentată, norii se află la o înălțime de 900m.

În grupa a şasea ni se dau indicații privind temperatura aerului la pragul pistei şi temperatura punctului de rouă.

În exemplul prezentat, temperatura aerului este de 27^oC, iar cea a punctului de rouă, de 22^0C.

Grupa a şaptea ne dă presiunea QNH (vezi Cap.Navigație) în hPa.

Ultima grupă ne avertizează despre evoluția situației meteo la aerodrom.

În exemplul nostru, *NOSIG* înseamnă că nu se prevăd modificări ale situației meteo pentru următorul interval (NO SIGnificant).

Deoarece o decodificare completă (pentru toate variantele posibile) a unui mesaj METAR necesită cunoştințe care depăşesc nivelul de pregătire urmărit în această lucrare, considerăm suficiente informațiile prezentate.

Pentru mai multe informații vă rugăm să vă adresați serviciilor meteo şi/sau trafic aerian, ***obligația acestor servicii fiind de a decodifica şi transmite acest mesaj în clar piloților.***

CAPITOLUL III
NAVIGAȚIE AERIANĂ

1. Generalități

Navigația aeriană este ştiința care se ocupă cu metodele şi practicile cele mai eficiente pentru asigurarea deplasării aeronavelor în spațiul aerian în deplină siguranță a zborului.

Pentru a se realiza deplasarea este necesară menținerea aeronavei pe traiectul obligat şi cunoaşterea permanentă a poziției acesteia în spațiu, coordonate, direcție de zbor, viteză, înălțime şi timp calculat între repere obligate.

În funcție de felul zborului, a distanței, vitezei, înălțimii, a condițiilor meteo se foloseşte una (sau mai multe) din metodele:

- metoda *navigației observate* constă în determinarea poziției aeronavei comparând reperele de pe sol cu semnele convenționale de pe hartă;
- metoda *navigației estimate* constă în determinarea poziției aeronavei după diferite instrumente de la bord, efectuând unele calcule;
- metoda *navigației radioelectrice* constă în determinarea poziției aeronavei folosind mijloacele electronice ale aeronavei şi/sau mijloace externe acesteia (amplasate pe sol sau sateliți);
- metoda *navigației astronomice* constă în determinarea poziției aeronavei după aştrii de pe bolta cerească cu ajutorul unor instrumente optice (de la bordul aeronavei);
- metoda *navigației inerțiale* constă în determinarea poziției aeronavei (şi a tuturor celorlalte elemente de zbor) plecând de la principiul determinării accelerației ce ia naştere pe cele 3 axe ale aeronavei;
- metoda *navigației izobarice* constă în determinarea poziției aeronavei plecând de la diferența indicațiilor de înălțime citite la altimetrul barometric şi radioelectric.

Aviația sportivă foloseste o metodă combinată şi anume metoda observată împreună cu cea estimată.

1.1. Globul pamântesc

Globul pământesc are o formă complexă determinată de existența munților şi văilor. Această formă se numeşte *geoid şi* se apropie de aceea a unui elipsoid obținut prin rotirea unei elipse în jurul axei mici.

Dimensiunile pământului sunt următoarele:

- semiaxa mare = 6378,245 km
- semiaxa mică = 6356,86 km
- turtirea = (a-b)/b = 1/299
- volumul = 1082841315400 km^3
- suprafața = 510100800 Km^2 din care 29,4 % il reprezintă uscatul.

2. Noțiuni geografice

Punctele şi liniile de pe suprafața pământului reprezintă elemente de referință necesare efectuării calculelor de navigație.

Acestea se clasifică din două puncte de vedere :

- din punct de vedere geografic;
- din punct de vedere al navigației aeriene.

Din punct de vedere geografic:

- *axa terestră*; este axa imaginară în jurul căreia se învârteşte pământul;
- *polii tereştrii (geografici)* sunt determinați de intersecția axei terestre cu suprafața pământului.

Locul din care mişcarea pământului apare inversă acelor de ceasornic se numeşte *Polul nord.* Opus lui *este Polul sud.*

- intersecția suprafeței pământului cu un plan perpendicular pe axa terestră şi care trece prin centrul pământului este un *cerc mare*. Circumferința acestui cerc mare se numeşte *ecuator*.

Ecuatorul împarte pământul în 2 *emisfere:* una nordică numită şi boreală şi o alta sudică numită australă.

- orice fel de cerc obținut prin intersecția pământului cu un plan ce nu trece prin centrul acestuia se numeşte *Cerc mic.*
- *Cercul mare* care se obține prin intersecția unui plan care conține şi axa terestră se numeşte *Cerc meridian*. Semicercul mare ce trece prin punctul sau localitatea intersectată se numeşte *meridian geografic* iar semicercul mare opus acestuia se numeşte *antimeridian*.

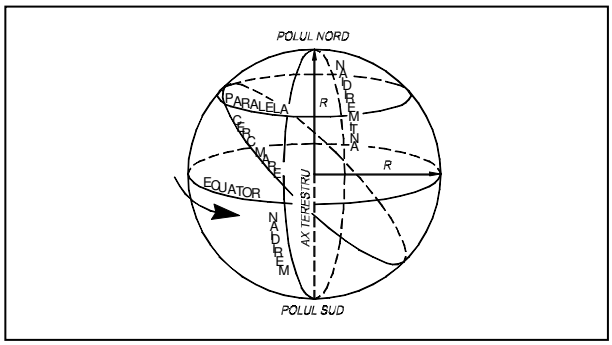


Fig. 2.1. Puncte şi linii pe glob

- ca origine a unor masurători în navigația aeriană se foloseşte *Meridianul "0" (Meridianul Greenwich).*
- cercurile mici de pe suprafața terestră paralele cu ecuatorul poartă denumirea de *cercuri paralele* sau *Paralele.*
- meridianele sunt numerotate începând de la primul (Greenwich) spre est de la 0^o la 180^o şi spre vest de la 0^o la -180^o.
- paralelele sunt notate în raport cu ecuatorul de la 0^o la 90^o N şi de la 0^o la 90^o S.

În felul acesta orice punct de pe suprafața pământului poate fi determinat ca fiind intersecția unei paralele cu un meridian.

Din punct de vedere al navigației aeriene:

- de la aerodromul de plecare şi până la cel de destinaţie o aeronavă se deplasează de-a lungul unui *itinerar, traiect sau rută.*
- punctul de la aerodromul de plecare sau de lângă acesta (origine a măsurătorilor şi calculelor) se numeşte *Punct Iniţial al Traiectului (P.I.T.)*
- punctul de la aerodromul de destinaţie sau lângă acesta (punctul final al măsurătorilor) se numeşte *Punct Final al Traiectului (P.F.T.).*
- linia ce marchează traiectul între P.I.T. şi P.F.T. şi de-a lungul căreia trebuie să se deplaseze aeronava se numeşte *Linia Drumului Obligat (L.D.O.).*
- linia care marchează traiectul de-a lungul căruia se deplasează în mod real o aeronavă se numeşte *Linia Drumului Real (L.D.R.).*
- unghiul format între aceste 2 linii se numeşte *Abatere Laterală Unghiulară (A.L.U.).*
- lungimea perpendicularei la LDO dusă de la o aeronavă ce se află pe LDR se numeşte *Abatere Laterală Liniară (A.L.L.).*
- punctul în care traiectul îşi schimbă direcţia poartă denumirea de *Punct de Schimbare de Traiect (P.S.T.)*, iar segmentele traiectului se numesc *Tronsoane.*

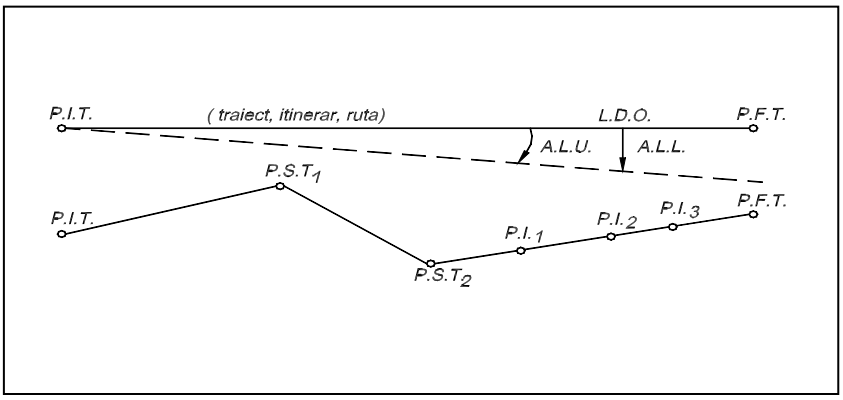


Fig. 2.2. Puncte şi linii de navigaţie

2.1. Coordonate geografice şi coordonate aeriene

Coordonatele geografice reprezintă o metodă de determinare a poziţiei aeronavei faţă de suprafaţa terestră sau a unui reper de pe sol, necesar navigaţiei aeriene.

Originea masurătorilor este planul meridianului Greenwich şi planul ecuatorului.

Coordonatele geografice se exprimă în *grade, minute şi secunde sexagesimale de Latitudine şi Longitudine.*

Longitudinea unui punct oarecare pe suprafaţa terestră este unghiul format între planul meridianului prim (Greenwich) şi planul meridianului ce trece prin punctul considerat, numit şi meridianul locului.

Latitudinea unui punct oarecare pe suprafaţa terestră este unghiul format între planul ecuatorului şi verticala punctului considerat, adică direcţia acestuia spre centrul pământului.

Coordonatele geografice ale unui punct oarecare sunt:

47°20'00" N 27°37'00" E

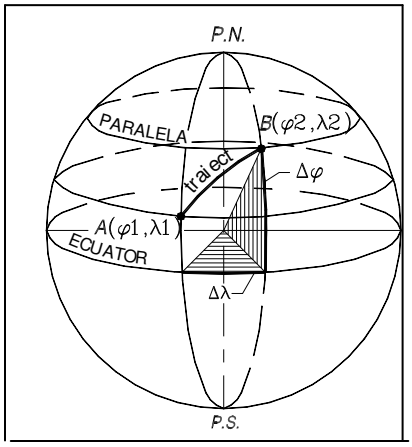


Fig. 2.3. Coordonate geografice

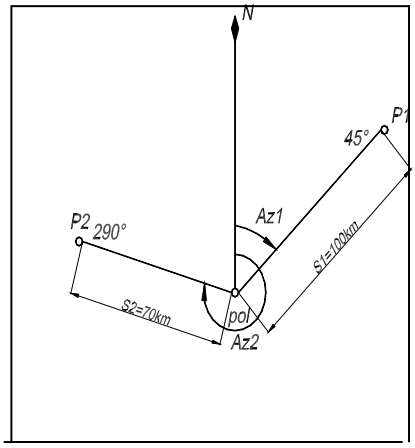


Fig. 2.4. Coordonate polare

Coordonate aeriene sunt***:***

- coordonate polare ;
- coordonate rectangulare;

a. *Coordonatele polare* determină poziția aeronavei sau a unui reper pe suprafața terestră prin *azimut şi* distanța față de un punct de referință numit arbitrar *pol*. (vezi fig. 2.4.)

Prin *azimut* (Az) se înțelege unghiul dintre direcția nord şi direcția către un punct considerat. Coordonatele polare se utilizează în tehnica operațională radar şi în sistemele de navigație: VOR/DMR, VOR/TAC şi TACAN. Azimutul, care în navigația aeriană poate fi un *relevment,* se exprimă în grade sexagesimale, iar distanța de la punctul de referința la pol, în *km* sau *mile marine*. Relevmentul se defineşte ca fiind unghiul (măsurat în sens orar şi în grade sexagesimale) format între direcția Nord magnetic şi direcția ortodromică aeronavă/stație sau stație/aeronavă.

b. *Coordonatele rectangulare* determină poziția unei aeronave pe suprafața terestră exprimată în distanțe liniare, (măsurate în km sau mile marine), pe 2 axe de coordonate perpendiculare între ele, X şi Y. Punctul de intersecție al celor două axe reprezintă *originea măsuratorilor* şi de regulă se amplasează în punctul inițial al traiectului. Calculatorul de navigație al avioanelor IL-62 şi TU-154 foloseşte sistemul de coordonate rectangulare (vezi fig. 2.5.).

2.2. Baza măsurării timpului

La baza măsurării timpului stau cele două mişcări ale pământului (rotație şi revoluție).

Rotirea pământului în jurul soarelui se efectuează în 365,242 zile cu o viteză de aproximativ 30 km/sec. şi se numeşte *mişcare de revoluție anuală*.

Axa pământului este înclinată față de planul *elipticei* cu un unghi de 66°33', iar mişcarea pământului în jurul axei sale se realizează în 23 ore 56 min. 04 sec.,şi se efectuează de la V la E cu o viteză de 1669 km/oră la ecuator şi se numeşte *mişcare de rotație*.

Unitatea de timp ce corespunde unei rotații de 360° in jurul axei terestre se numeşte zi. În navigație se foloseşte *ziua solară medie* care are o durată de 24 ore 04 sec. Începutul zilei solare medii are loc la 12 noaptea (ora 00.00). Timpul se notează de obicei cu **T**.

Ora calculată pentru primul meridian poartă denumirea de ora Greenwich, ora internațională sau timp universal (GMT sau UT).

Datorită faptului că razele soarelui sunt paralele cu planul elipticei, suprafața pământului luminată de soare este înclinată în raport cu axa polilor cu 23°30'. Din această cauză localitățile amplasate în lungul aceluiaşi meridian nu sunt luminate deodată la aceeaşi oră (vezi Fig. 2.6).

În emisfera de nord, în timpul verii, localitățile situate pe acelaşi meridian la latitudini mai mari vor beneficia de lumina soarelui mai mult timp decât cele situate la latitudini mai mici (vezi fig. 2.6.).

Ora răsăritului pentru localitățile de pe un meridian situate la latitudini mai la nord va fi mai devreme față de localitățile situate mai la sud. La fel şi ora apusului soarelui pentru localitățile situate mai la nord va fi mai târzie față de localitățile situate mai la sud, pe acelaşi meridian.

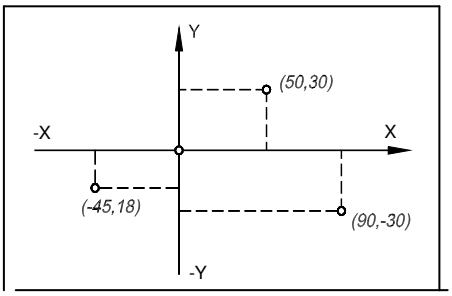


Fig. 2.5. Coordonate rectangulare

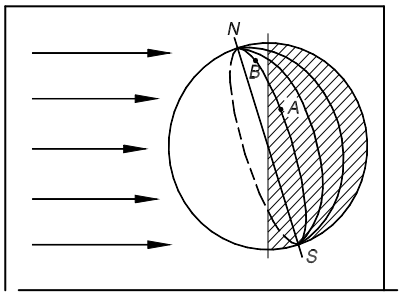


Fig. 2.6. Răsăritul soarelui

2.3. Exprimarea longitudinii în unitați de timp

La o rotire de 24 ore corespund 360° longitudine.
La o rotire de o oră corespund 15° longitudine (360°:24 ore)
Un minut de timp va avea 15" longitudine (15x60)/60.
Deci: 1 oră = 15° longitudine .
1 min.= 15'longitudine.
1 sec.= 15"longitudine.
În mod similar vom obține:
1°longitudine = (1 ora x 60)/ 15 = 4 min de timp
1'longitudine = (4 min x 60)/ 60 = 4 sec de timp
1"longitudine = 4 sec / 60 = 1 / 15 sec de timp

2.4. Fusele orare

Fusele orare reprezintă o împărțire a pământului în fişii (în număr de 24 corespondente celor 24 ore ale zilei).

Fusele orare sunt numerotate de la 0 la 12, iar "Fusul 0" se întinde de la 7°30'E la 7°30'W.

Fiecare fus orar se întinde pe un arc de 15° longitudine. (1° long. măsurat pe ecuator = 1 NM = 1852 m.)

3. Liniile de poziție ale aeronavei

Determinarea poziției aeronavei în raport cu suprafața pământului se realizează cu ajutorul unui sistem de coordonate geografice, polare sau rectangulare. În practica navigației aeriene este necesar să se determine elementele deplasării aeronavei pe baza succesiunii coordonatelor aeronavei. În mod obişnuit aceasta se realizează prin determinarea a 2 linii (puncte de poziție succesive).

Linia de poziție este locul geometric al tuturor punctelor care pot reprezenta poziția aeronavei pe suprafața pământului.

3.1. Loxodroma este linia de poziție care intersectează meridianele sub acelaşi unghi (vezi Fig. 3.7.).

Loxodroma este linia care trece prin punctul de plecare PIT şi punctul de sosire PFT al drumului aerian şi taie toate meridianele sub un unghi constant.

Din punct de vedere geometric, loxodroma, prelungită dincolo de capetele drumului apare ca o spirală care se apropie tot mai mult de poli dar fără să-i atingă. De la această regulă fac excepție paralelele, meridianele şi ecuatorul.

Navigația aeriană care foloseşte compasul de la bord se efectuează pe loxodromă. Navigația este uşoară şi convenabilă pe distanțe scurte (sub 1000 Km), deoarece până la această distanță erorile în lungime sunt mici.

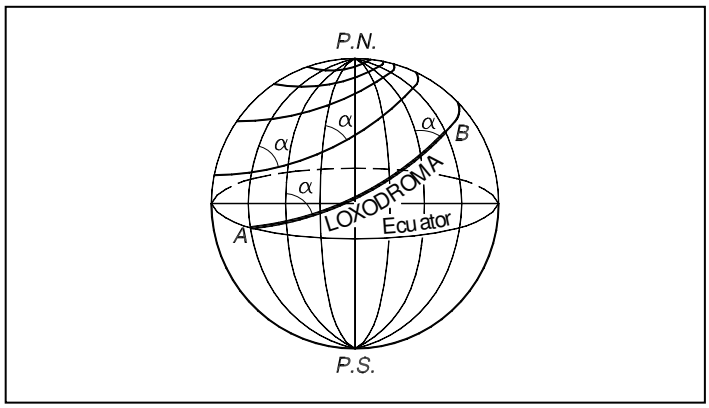


Fig. 3.7. Loxodroma

3.2. Ortodroma este arcul mic din cercul mare care trece prin punctul de plecare PIT şi cel de sosire PFT al unui traiect de pe suprafața pământului (vezi Fig. 3.8.).

Ortodroma reprezintă cel mai scurt drum aerian în spațiu între 2 puncte. Ortodroma se foloseşte de obicei la zboruri pe distanțe mari (peste 1000 km), în cadrul navigației radioelectrice (unde pe sol sunt amplasate mijloace radioelectrice dispuse pe ortodromă). Astfel în cadrul unui zbor între Roma şi New York, dacă se merge pe loxodromă, vom trece prin: Ankara, Krasnovodsk, Pekin şi măsoară peste 12.300 km, în timp ce zburând pe ortodromă vom trece prin: Leipzig, Leningrad, Long Eniseisk, Blagowescensk şi măsoară aproximativ 10.500 km.

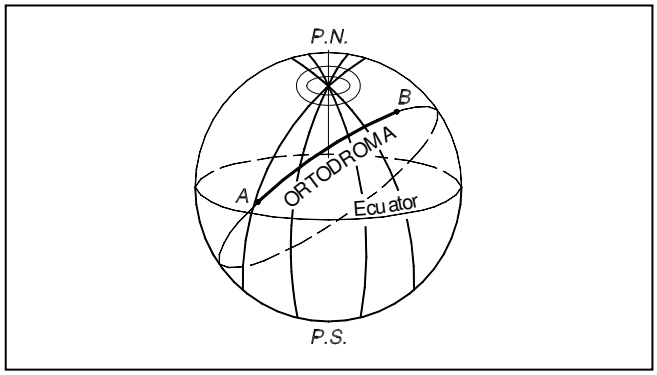


Fig. 3.8. Ortodroma

4. Proiecţii cartografice

Proiecţiile cartografice reprezintă nişte procedee matematice de transpunere a suprafeţei terestre, fie pe o suprafaţă plană, fie pe o suprafaţă desfăşurabilă (care poate fi suprafaţa unui cilindru sau a unui con), în vederea obţinerii hărţilor.

Caracteristicile unei proiecţii cartografice sunt:
- să indice corect unghiurile (să fie *conforme*);
- să păstreze proporţionalitatea distanţelor (să fie *echidistante*);
- să prezinte forma adevarată a terenului (să fie *echivalente*).
- ortodroma şi loxodroma, principalele linii de poziţie să apară ca linii drepte.
- meridianele şi paralelele să fie linii drepte.

Deoarece nici o proiecţie cartografică nu poate îndeplini aceste condiţii simultan, se caută să se respecte *condiţia principală pentru navigaţia aeriană şi anume să se respecte unghiurile*.

4.1. Elementele unei proiecţii

Elementele unei proiecţii sunt:
- *centrul de vedere*, adică punctul din care se execută proiecţia;
- *razele de proiecţie*, adică razele imaginare care pleacă din centrul de vedere, străbat suprafaţa de proiectat (a pământului) şi se proiectează pe suprafaţa de proiecţie;
- *suprafaţa de proiecţie*, adică planul pe care razele de proiecţie proiectează (dau imaginea) suprafaţa pământului.

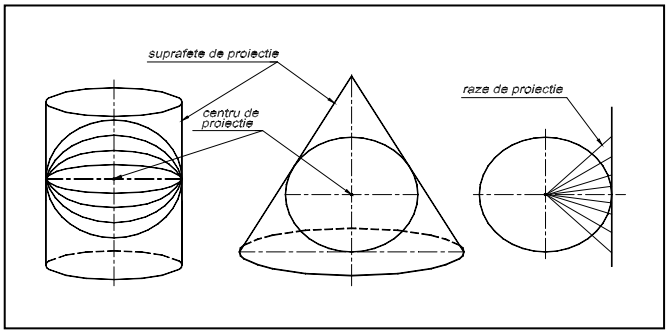


Fig. 4.9. Elementele proiecţiilor cartografice

4.2. Clasificarea proiecțiilor cartografice

Proiecțiile cartografice se clasifică după 3 criterii :

a. după felul deformărilor;

b. după suprafața de proiecție;

c. după poziția punctului de vedere;

a. după felul deformărilor:

- *proiecții conforme*, care păstrează egalitatea unghiurilor de pe suprafața pământului;
- *proiecții echidistante*, care păstrează o corectă proporționalitate a distanțelor;
- *proiecții echivalente*, care păstrează proporționalitatea şi forma suprafețelor.

b. după suprafața de proiecție:

- după forma suprafeței:
  - *cilindrică;*
  - *conică şi policonică;*
  - *azimutală.*
- după dispunerea față de suprafața pământului:
  - *tangente;*
  - *secante.*
- după poziție:
  - *normale* (în prelungirea axei pământului);
  - *transversale* (perpendiculare pe axa pământului);
  - *oblice* (în altă poziție față de pământ). (Vezi Fig. 4.9.).

c. după amplasarea punctului de vedere:

- *centrale*, când punctul de vedere este amplasat în centrul pământului;
- *stereografice*, când punctul de vedere este amplasat undeva în spațiu;
- *ortografice*, când punctul de vedere este amplasat la infinit.

4.3 Proiecția conică normală

Proiecția conică normală se obține prin proiectarea elipsoidului terestru pe un con tangent având înălțimea în prelungirea axei terestre.

Față de proiecția tangentă, proiecția conică secantă (*proiecția conică conformă Lambert*), are o zonă mai mare în care deformările sunt mici. *Această proiecție este larg utilizată la întocmirea hărților de navigație* (ex: harta de navigație a lumii).

Aceste hărți păstrează o singură scară când paralele standard (paralelele secante) sunt distanțate până la 10^o -15^o latitudine.

Proiecția conică conformă Lambert are următoarele caracteristici:

- este conformă;
- este echidistantă;
- este echivalentă;
- meridianele apar ca linii drepte convergente, iar paralelele, arcuri de cerc concentrice;
- ortodroma şi loxodroma nu sunt linii drepte.

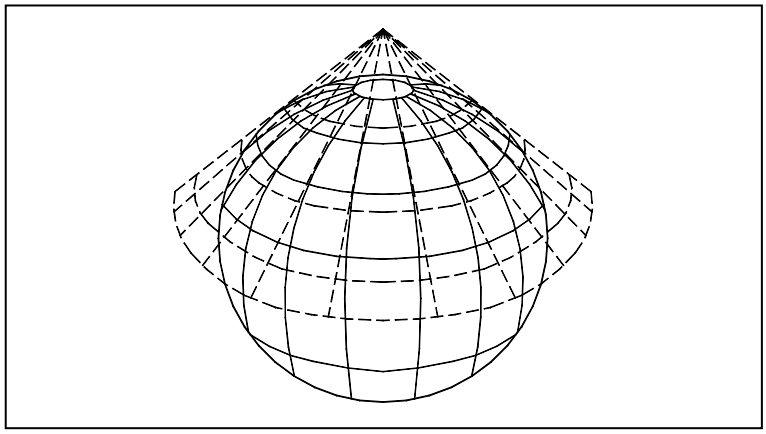


Fig. 4.10. Proiecția conică normală

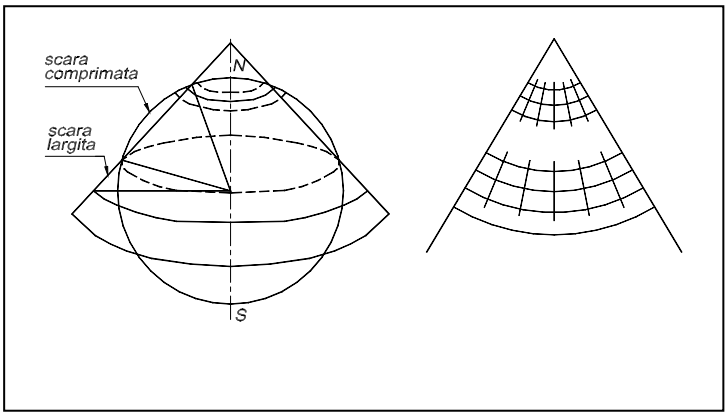


Fig. 4.11. Proiecția conică conformă Lambert

4.4. Proiecția cilindrică centrală normală

Este o proiecție centrală având ca suprafață de proiecție un cilindru circumscris de-a lungul ecuatorului. Prin desfăşurarea cilindrului se obține proiecția cilindrică centrală normală.

Proiecția are următoarele caracteristici:

- meridianele sunt linii drepte paralele şi echidistante;
- paralelele sunt de asemenea linii paralele însă distanța dintre ele creşte cu cât ne apropiem de poli;
- peste 72^{o} latitudine, proiecția nu se mai poate utiliza.

4.5. Proiecția Mercator

Este o proiecție cilindrică normală centrală, modificată în sensul că deformarea distanțelor de-a lungul meridianelor să fie făcută în aceeaşi măsură în care acestea sunt deformate de-a lungul paralelelor. În felul acesta scara creşte în lungul meridianelor de la ecuator spre poli.

Caracteristicile proiecției Mercator sunt:

- meridianele sunt linii drepte paralele şi egal distanțate între ele;

- paralelele sunt linii drepte paralele dar neegal distanțate;
- este conformă;
- nu este echidistantă (scara creşte spre poli);
- nu este echivalentă (2 suprafețe egale pe teren vor arăta diferit pe hartă; astfel, cea de la latitudinea de 60^o va fi de 2 ori mai mare față de cea de la ecuator);
- loxodroma este o linie dreaptă;
- ortodroma nu este o linie dreaptă.

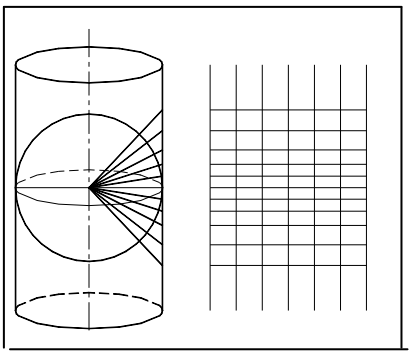


Fig. 4.12. Proiecția cilindrică

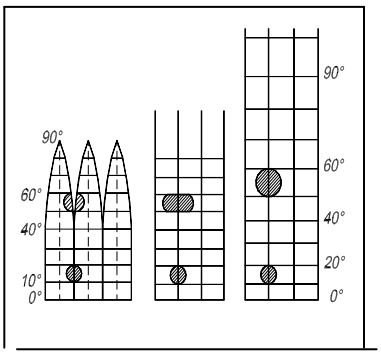


Fig. 4.13. Proiecția Mercator

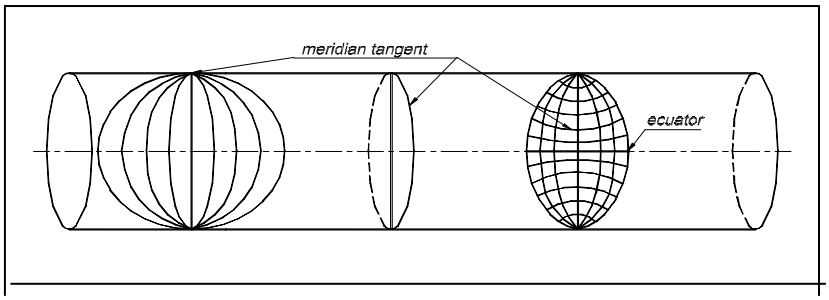


Fig. 4.14. Proiecția cilindrică transversală Gauss

4.6. Proiecția cilindrica transversala GAUSS

În cazul acestei proiecții, cilindrul are axa perpendiculară pe axa pământului, suprafața fiind tangentă la poli de-a lungul unui meridian.

Proiecția are următoarele caracteristici:

- meridianul axial se proiectează sub forma unei linii drepte perpendiculare pe ecuator fără nici o deformare în ce priveşte lungimea sa;
- restul meridianelor se proiectează sub forma unor linii curbe, convergente la poli;
- ecuatorul apare ca o linie dreaptă;
- paralelele sunt arcuri de cerc dispuse simetric în raport cu ecuatorul;
- proiecția este conformă echidistantă şi echivalentă;
- ortodroma şi loxodroma nu sunt linii drepte.

4.7 Proiecția stereografică polară

Datorită faptului că proiecțiile cilindrice şi conice se folosesc până la aprox. 60^o -70^o latitudine, pentru reprezentarea pământului la latitudini mai mari pe hărțile de navigație se foloseşte proiecția stereografică polară.

În cadrul acestei proiecții centrul de vedere se află la unul din poli iar suprafața tangentă la celalalt pol.

Proiecția are următorele caracteristici:

- meridianele apar ca linii drepte convergente la poli;
- paralelele apar ca cercuri concentrice cu centrul la pol, însă distanța dintre ele se măreşte pe măsură ce ne depărtăm de pol;
- ortodroma se apropie foarte mult de o linie dreaptă;
- loxodroma este o linie curbă;
- proiecția nu este echivalentă.

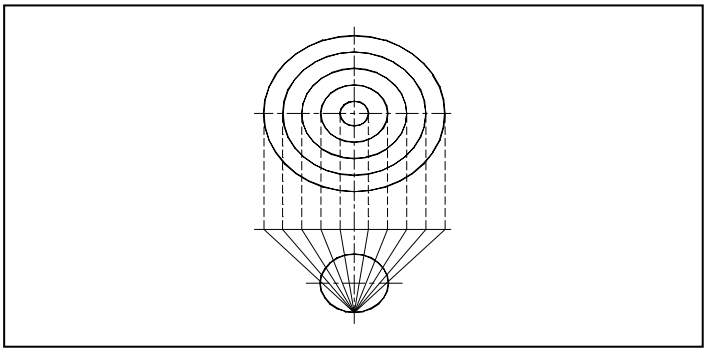


Fig. 4.15. Proiecția polară

5. Harta

Harta este o reprezentare (transpunere) convențională pe un plan de dimensiuni reduse a suprafeței elipsoidului terestru, sau a unei părți a acesteia folosind un sistem de proiecție cartografică.

La o hartă trebuiesc luate în considerare următoarele caracteristici:

a. scara hărții;
b. proiecția cartografică;
c. nivelmentul;
d. planimetria;
e. hidrografia;
f. semne convenționale şi alte date generale.

a. *scara hărții* reprezintă raprtul dintre distanța "s" măsurată pe hartă şi distanța reală "S" măsurată pe teren, folosind aceeaşi unitate de măsură. Ea se exprimă printr-un raport s/S = 1/n sau 1:n; unde n arată de câte ori distanța s de pe hartă se cuprinde în distanța reală S de pe teren.

Scara hărții poate fi:

- *scară numerică*, 1:500.000 sau 1/ 500.000;

Numărătorul se exprimă prin cifra *1*, iar numitorul arată de câte ori este mai mică harta față de suprafața de teren pe care o reprezintă;

- *scara grafică*. Acest mod de exprimare al scării hărții este o reprezentare grafică a scării numerice.

- *scara naturală* este scara în care se arată direct valoarea de transformare a măsurătorilor de pe hartă (ex: 10 cm = 5 Km. sau 10 cm = 10 Km.).

De regulă hărțile au o scară grafică şi o scară numerică.

b. *proiecția cartografică* este elementul care permite cunoaşterea caracteristicilor principale ale hărții respective.

c. *nivelmentul* reprezintă totalitatea formelor de relief. Reprezentarea nivelmentului pe hartă se

realizează prin curbe de nivel, tente hipsometrice, tente umbrite şi cote.

d. *planimetria* reprezintă totalitatea construcțiilor de pe teren: poduri, terenuri, oraşe, căi ferate, drumuri etc.

e. *hidrografia* infățişează cursurile de apă de pe terenul reprezentat;

f. *formele convenționale* sunt simboluri folosite pentru ca harta să reprezinte cât mai sugestiv elementele de pe teren: localități, căi ferate, poduri, etc..

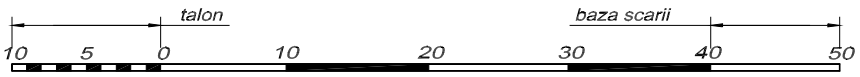


Fig. 5.16. Scara hărții

5.1. Hărțile aeronautice

Hărțile aeronautice sunt destinate:

- calculelor preliminare a traiectelor de navigație;
- orientării la vedere şi navigației estimate;
- navigației radioelectrice;
- procedurilor de operare *IFR* şi *VFR* (zbor instrumental şi zbor la vedere).

Se deosebesc:

- *harta traiectelor* de navigație: scara 1:500.000, 1:1.500.000;
- *harta de navigație pentru avioane de mare viteză* scara 1:3.000.000;
- *harta lumii* scara 1:1.000.000. Aceasta este harta de bază pentru navigația la vedere pe distanțe medii;
- *harta de navigație la vedere* scara 1:500.000 care derivă din harta lumii dar are mai multe elemente;
- *harta de radionavigație* scara 1:500.000 - 1:2.000.000, conține axele căilor aeriene, direcțiile magnetice, nivelele minime de zbor, puncte obligatorii de raport, frecvențele şi indicativele mijloacelor de radionavigație şi a organelor de trafic şi alte informații;

- *harta procedurii de apropiere după instrumente*, scara 1:250.000 conține elemente topografice şi hidrografice precum şi elementele de navigație radioelectrică pentru executarea procedurilor;
- *harta procedurii de apropiere la vedere*, scara 1:200.000 conține aceleaşi elemente, dar în condiții de zbor VFR (zbor la vedere);
- *harta regiunii terminale de control* la scara 1:50.000 destinată procedurii de trecere de la navigația pe căi aeriene la apropierea pentru aterizare. Ea conține rute de plecare şi sosire pe direcțiile de decolare - aterizare;

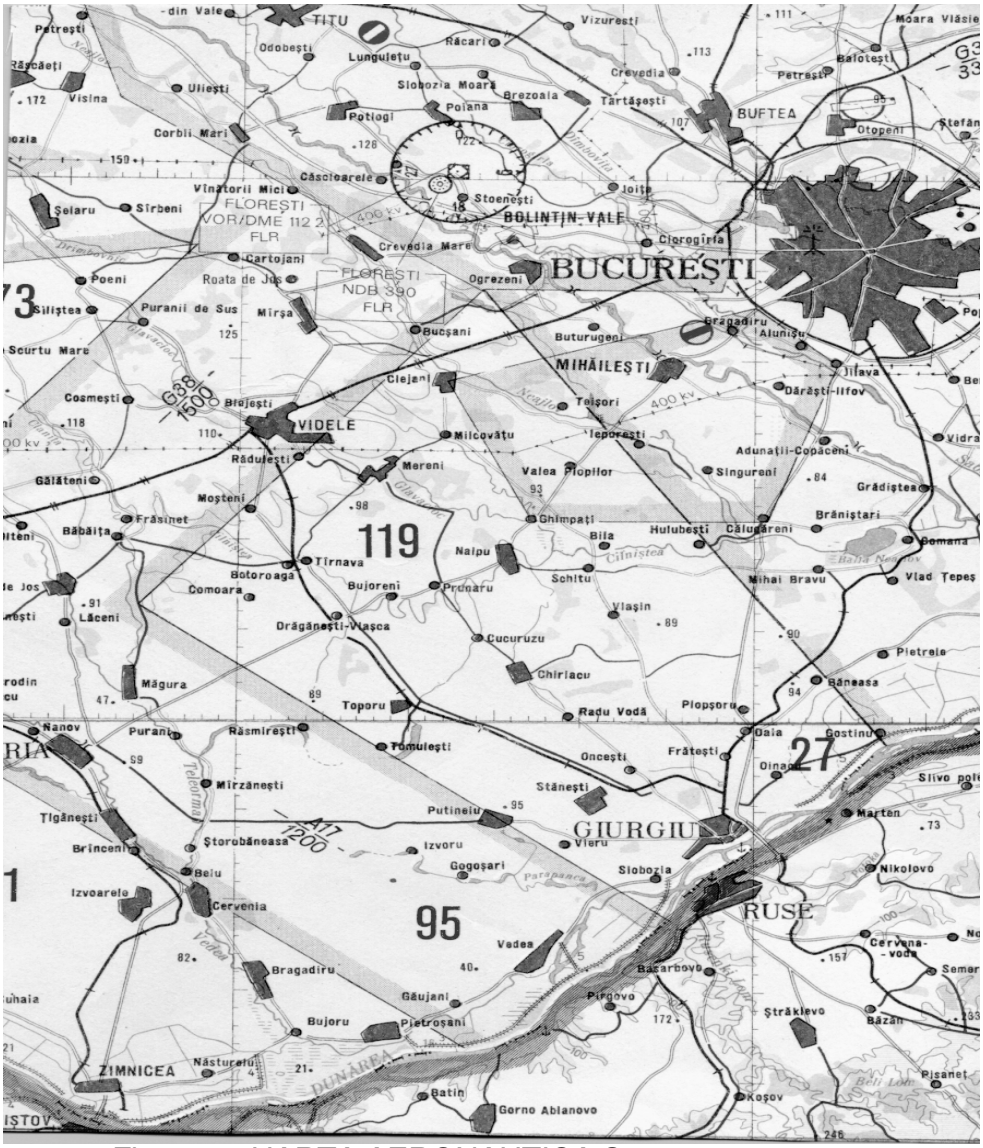


Fig..5.17. HARTA AERONAUTICA Scara 1:500.000

- *harta de aterizare* la scara 1:25.000 conține dimensiunile pistelor şi elemente de amplasare generală a mijloacelor şi clădirilor aeroportului (aeroclubului);
- *harta de aerodrom*, scara 1: 10.000 conține informații detaliate privitoare la pistă, căile de circulație şi platforma.

6. Magnetismul terestru

Magnetismul terestru reprezintă un ansamblu de fenomene magnetice datorate constitutiei neomogene a planetei noastre (nucleul pământului este constituit din fier şi nichel care datorită temperaturilor şi presiunilor mari precum şi datorită rotației, generează fenomenul de *inducție magnetică*). Magnetismul terestru suportă şi *influențe extraterestre*.

Pământul se consideră că acționează ca un magnet de dimensiuni enorme (vezi Fig. 6.18.) având caracteristicile şi proprietățile unei bare magnetice.

Câmpul magnetic, forma de manifestare a magnetismului terestru, se caracterizează prin liniile de forță magnetică (vezi Fig. 6.18.)

Punerea în evidență a câmpului magnetic terestru se realizează cu ajutorul unui ac magnetic suspendat, liber a se roti în plan orizontal. Acul se va orienta întotdeauna de-a lungul liniilor de forță magnetică care acționează asupra lui. Direcția de orientare a acului magnetic se consideră a fi direcția meridianului magnetic. (vezi Fig. 6.18.).

Polul nord magnetic şi polul nord geografic nu coincid.

Diferența unghiulară între direcția nordului geografic şi direcția nordului magnetic (dintre meridianul adevărat şi magnetic al locului) se numeşte *declinație magnetică* şi se notează cu Δ_m.

Dacă se unesc toate punctele de pe suprafața pământului cu aceeaşi declinație magnetică, se obțin niste curbe, numite ***izogone***.

Declinația magnetică poate fi estică (*pozitivă*) sau vestică (*negativă*) (vezi Fig. 6.19.), în funcție de amplasarea meridianului magnetic față de cel geografic.

Datorită faptului că nordul magnetic nu coincide, ci se deplasează în jurul polului nord geografic, executând o rotație de 360^o în timp de peste 800 de ani, *declinația magnetică este variabilă*.

Din aceste motive pe hărți sunt trecute în dreptul liniilor izogone data când au fost trasate, cât şi variația anuală a acestora.

În țara noastră variația declinației magnetice este de 5,1' E pe an. Pentru a afla declinația magnetică din prezent, se va înmulți diferența de ani (de la data editării hărții şi până la data calculului) cu variația declinației (5,1' x nr. de ani) şi se va aduna la declinația trasată pe hartă.

Pe hărți se trasează şi *liniile care au aceeaşi înclinație magnetică şi care se numesc izocline*.

Unghiul de înclinație magnetică este 0^o la ecuator şi 90^o la poli.

Liniile care au declinația 0^o se numesc linii *agone*.

Datorită faptului că structura geologică a pământului este foarte diferită din punct de vedere magnetic, de la loc la loc, vom întâlni pe hărțile de navigație aeriană, în afara liniilor de egală declinație şi linii (zone) unde valoarea câmpului magnetic este foarte puternică şi cu izogonele deformate. Aceste *zone de anomalii magnetice* se pot întinde de la câteva zeci de metri la câteva sute de Km. O astfel de zonă, unde intensitatea câmpului magnetic este aproape similară cu regiunea polilor, este regiunea Kursk din Rusia (zona cu bogate zăcăminte de fier).

În afara acestor anomalii, câmpul magnetic terestru este supus şi unor *perturbaţii cu un caracter aleator. Aceste perturbaţii se numesc furtuni magnetice şi* au loc în general în zona polilor, dar se mai produc şi pe întreg globul.

Cauzele acestor furtuni magnetice sunt legate de apariţia petelor solare, care au o periodicitate de 11 ani. *Petele solare sunt zone de emisie a particulelor ionizate care au propriul lor câmp magnetic şi care interferă cu cel terestru*.

Durata acestor furtuni este de câteva ore; în schimb sunt foarte puternice, înregistrându-se furtuni în cadrul cărora declinaţia s-a modificat cu 52°. În timpul acestor furtuni acul magnetic este foarte instabil.

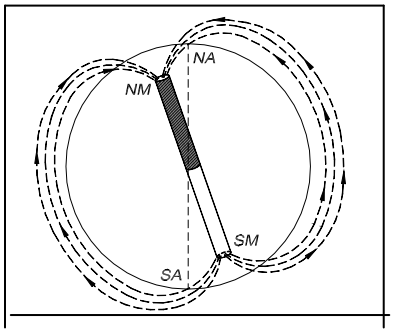


Fig. 6.18. Magnetismul terestru

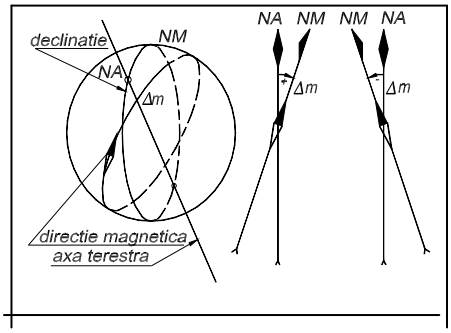


Fig. 6.19. Declinaţia magnetică

7. Elemente de navigaţie aeriană

Acestea sunt :

- acţiunea vântului asupra planorului (deriva);
- acţiunea vântului asupra vitezei faţă de sol;
- drumuri, capuri;
- trasarea drumurilor.

În acest capitol sunt definite elementele care se calculează la sol înaintea începerii zborului, elemente necesare echipajului pentru efectuarea zborului.

Direcţia indică poziţia sau orientarea unui punct în spaţiu, în raport cu un alt punct, fără a ţine seama de distanţa dintre ele.

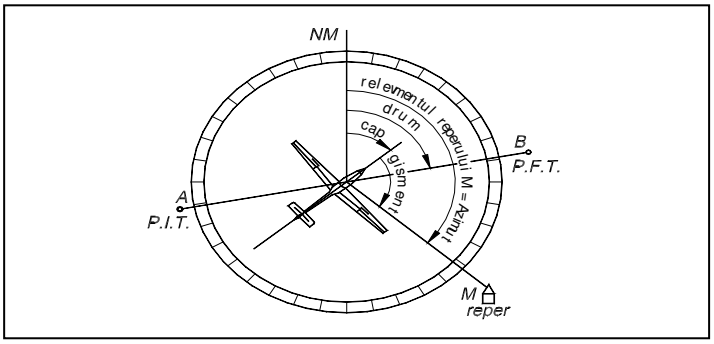


Fig. 7.20. Direcţii

Determinarea direcției se poate face în plan orizontal sau în plan vertical.

În navigația aeriană se folosesc ca direcții *drumurile, capurile şi relevmentele*.

7.1. Drumurile aeronavei

Drumul este unghiul format între direcția nordului (**N**ord **A**devarat, **N**ord **M**agnetic) şi linia care uneşte **P**unctul **I**nițial al **T**raiectului cu **P**unctul **F**inal al **T**raiectului.

Se deosebesc deci, *drumuri adevărate (DA) şi drumuri magnetice (DM)* (vezi Fig. 7.21.).

Când traiectul aeronavei **coincide** cu linia drumului obligat (LDO), atunci drumurile măsurate se numesc *drumuri* (adevărate sau magnetice) *obligate* (DAobl, DMobl).

Când traiectul real al aeronavei **nu coincide** cu LDO, drumurile se numesc *drumuri* (adevărate sau magnetice) *real urmate* (DAr, DMr).

Măsurarea drumurilor pe hartă se realizează astfel:

- se uneşte PIT cu PFT pe hartă;
- cu ajutorul unui raportor se masoară unghiul format între direcția celui mai apropiat meridian geografic şi LDO.

Abaterea laterală unghiulară este unghiul format intre linia drumului obligat LDO şi linia drumului real LDR. Se notează ALU.

Lungimea perpendicularei dusă din punctul unde se află aeronava pe LDR la LDO se numeşte *abatere laterală liniară* (ALL).

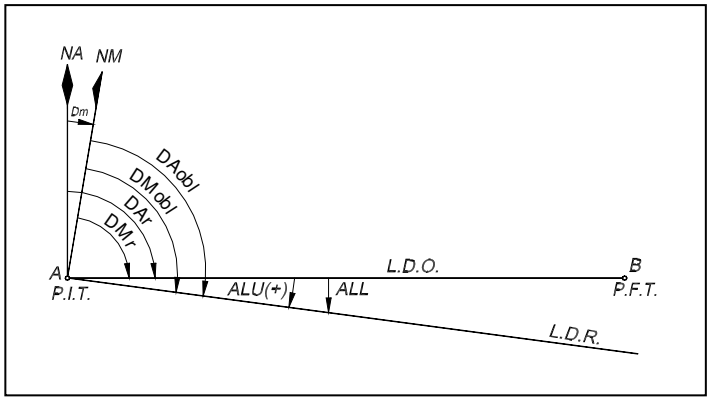


Fig. 7.21. Drumuri în navigația aeriană

7.2. Capurile aeronavei

Unghiul format între direcția nordului şi axa longitudinală a aeronavei se numeşte cap (vezi Fig. 7.22.).

Dacă direcția de referință este cea a nordului adevarat, se numeşte *cap adevărat (CA)*, iar dacă este a nordului magnetic, capul va fi *cap magnetic (CM)*.

Instrumentul cu care se citeşte capul magnetic este *Compasul de aviație (busola)* (vezi Cap. Instrumente de bord).

Acesta, în afara liniilor magnetice de forță, mai este supus şi câmpului magnetic al maselor metalice din structura aeronavei precum şi a câmpului electromagnetic generat de circuitele şi

agregatele electrice de la bord. Din acest motiv *compasul de aviatie* nu va indica direcția meridianului magnetic, ci o alta, numită direcția nordului compas (NC).

Unghiul format între direcția nordului magnetic (NM) şi cea a nordului compas (NC) se numeşte *deviația compasului* şi se ia în considerare la calculul elementelor de navigație.

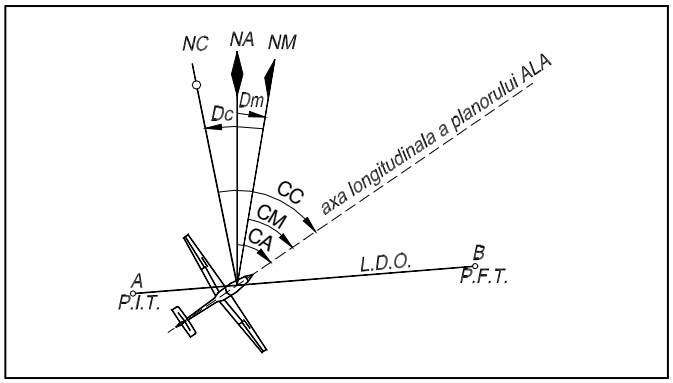


Fig. 7.22. Capurile aeronavei

7.3. Relevmentul

Relevmentul avionului este unghiul măsurat între meridianul care trece prin punctul de amplasare al mijlocului de radionavigație şi direcția ortodromică către punctul avionului.

Relevmentul stației este unghiul măsurat între meridianul care trece prin punctul de amplasare al avionului şi direcția ortodromică către mijlocul de radionavigație.

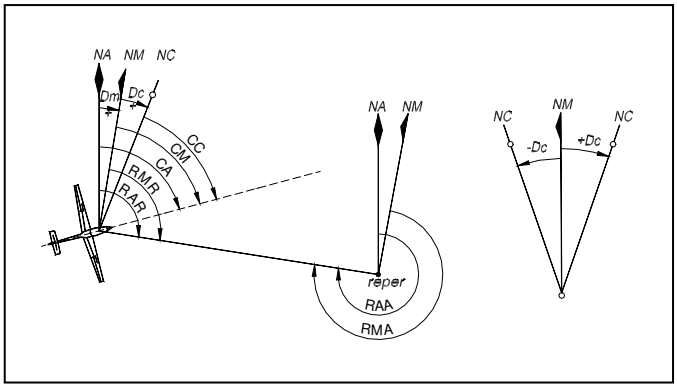
Referința de măsurare este direcția nordului adevărat (sau magnetic) şi vom avea relevmentele reperului (R.A.R. sau R.M.R.) măsurate în avion sau relevmentele avionului (R.A.A. sau R.M.A) măsurate la reper.

În cadrul aviației sportive nu se foloseşte de obicei relevmentul, totuşi este bine să fie cunoscut pentru cazurile de pierdere a orientării, când se apelează la turnurile de control ale aviației de transport.

În aceste situații turnul de control va transmite aeronavei prin radio *relevmentul magnetic al reperului (RMR = QDM) sau relevmentul magnetic al avionului (RMA = QDE)*.

QDM reprezintă direcția magnetică pe care ne deplasăm pentru a ajunge la turnul de control (reper), iar QDE reprezintă direcția magnetică pe care se află aeronava față de reper.

Fig.7.23. Capurile şi relevmentele



Drumuri-Capuri: relații de calcul

Drumurile folosite în navigația aeriană sunt în general trasate pe hartă începând cu linia drumului adevărat LDO. Prin măsurare pe hartă se va determina DA şi prin calcul se va afla drumul magnetic DM, apoi cunoscând deviația compasului se va calcula drumul compas DC cu următoarele relații:

DA = DM + (± Dm)
DM = DA - (± Dm)
DC = DM - (± Dm)
DM = DC + (± Dm)
DA = DC + (± Dc) +(± Dm)
DC = DA - (± Dc) +(± Dm)

Exemplu:

DA = 70^o; Dm = 5^o;
DM = 70^o - 5^o = 65^o

În timpul zborului la bordul aeronavei se citeşte direct la compasul de aviație, capul compas. Acesta se masoară între direcția nord compas (direcția nord indicată de compas), şi prelungirea axei longitudinale a aeronavei, partea din față. (vezi Fig. 7.22.).

Relațiile de calcul sunt:

CM = CA - (± Dm)
CA = CM + (± Dm)
CC = CM + (± Dc)
CM = CC - (± Dc)
CC = CA - (± Dm) - (± Dc)
CA = CC + (± Dm) + (± Dc)

Exemplu:

CM = 60^o; Dm = 5^o;Dc = +2^o
CM = 60^o- 5^o= 55^o
CC = 55^o- 2^o= 53^o

7.4. Unghiul de derivă

Ultimul element care determină modul de desfăşurare a zborului este deriva sau unghiul de derivă, care se datorează direcției şi vitezei de deplasare a masei de aer în care zboară aeronava. Prin *derivă* se înțelege unghiul format între prelungirea axei longitudinale a aeronavei şi linia drumului real şi se notează Dv.

Deriva aeronavei variază în funcție de viteza vântului, direcția acestuia față de LDO (**U**nghiul **D**rumului cu **V**ântul), cât şi de viteza proprie a aeronavei (*V.P.A.*)

Variația derivei se manifestă astfel:

- cu cât viteza vântului este mai mare, cu atât unghiul derivei va fi mai mare;

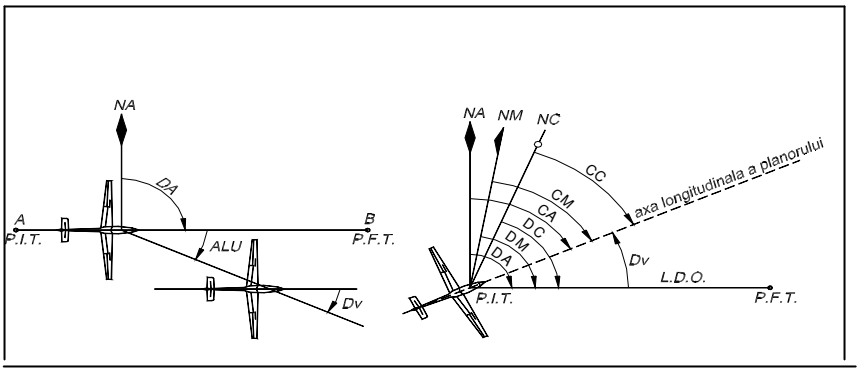


Fig. 7.24. Deriva aeronavei

- cu cât unghiul direcției vântului față de LDO (UDV) este mai mare, cu atât unghiul de derivă va fi mai mare. (UDV poate avea valori cuprinse între 0^o şi 180^o stânga/dreapta față de LDO).
- cu cât viteza proprie a avionului este mai mare, cu atât unghiul de derivă este mai mic.

7.5. Relațiile de calcul între drumuri şi capuri

Relațiile de calcul între drumuri şi capuri sunt următoarele:

CA = DA - (± Dv)

CM = DM - (± Dv) = DA - (± Dm) - (± Dv)

CC = DM - (± Dc) - (± Dv) = DA - (± Dm) - (± Dc) - (± Dv)

DA = CC + (± Dc) + (± Dm) + (± Dv)

Calcularea derivei şi a celorlalte elemente necesare desfăşurării zborului se realizează cu ajutorul metodelor grafice (triunghiul de navigație al vitezelor) sau cu ajutorul calculatoarelor de navigație.

7.6. Acțiunea vântului asupra vitezei la sol

După cum se ştie, vitezometrul indică viteza de zbor a aeronavei față de masele de aer (VPA).

În acelaşi timp masele de aer se vor deplasa față de sol. Din acest motiv şi *viteza aeronavei față de sol (VS)* va fi diferită de viteza proprie a aeronavei. Această viteză depinde de viteza vântului, după cum urmează:

- viteza aeronavei față de sol creşte atunci când vântul este de spate;
- viteza aeronavei față de sol scade când vântul este de față;

7.7. Triunghiul de navigație al vitezelor

Triunghiul de navigație al vitezelor reprezintă procedeul de bază pentru determinarea elementelor principale de navigație ale zborului.

Triunghiul de navigație al vitezelor se compune din 3 vectori:

- vectorul vitezei proprii;
- vectorul vitezei vântului;
- vectorul vitezei față de sol.

Cunoscând 2 vectori se determină cel de-al treilea şi deriva.

Triunghiul de navigație al vitezelor se poate rezolva grafic, analitic şi cu ajutorul calculatoarelor de navigație sau a oricarei rigle de calcul.

Rezolvarea grafică a triunghiului de navigație al vitezelor este prezentată în continuare: (vezi Fig. 7.25.)

De obicei se cunosc drumul adevarat DA, viteza proprie adevarată VPA, direcția şi viteza vântului. Se cere să se determine deriva (Dv), viteza față de sol (VS) şi capul adevărat (CA).

Se trasează pe o coală de hârtie o scară grafică convenabilă care să cuprindă atât viteza vântului Vv cât şi viteza proprie adevarată VPA. Dintr-un punct ales ca origine, "O", se trasează linia drumului obligat LDO. În originea aleasă se amplasează şi vectorul vânt la aceeaşi scară şi anume cu originea vectorului în punctul "O". Din vârful vectorului vânt (punctul A), de regulă cu ajutorul unui compas, se trasează un arc de cerc cu o rază egală cu VPA care se intersectează cu LDO. În acest punct de intersecție, B, se amplasează un nou vector Vv, cu vârful pe LDO. Se uneşte punctul de origine "O" cu originea vectorului vânt Vv (punctul C).

S-au obținut 2 triunghiuri asemenea în care:

AB = OC = VPA

OB = Vs (se măsoară pe scara grafică) iar unghiul BOC = Dv se măsoară cu raportorul.

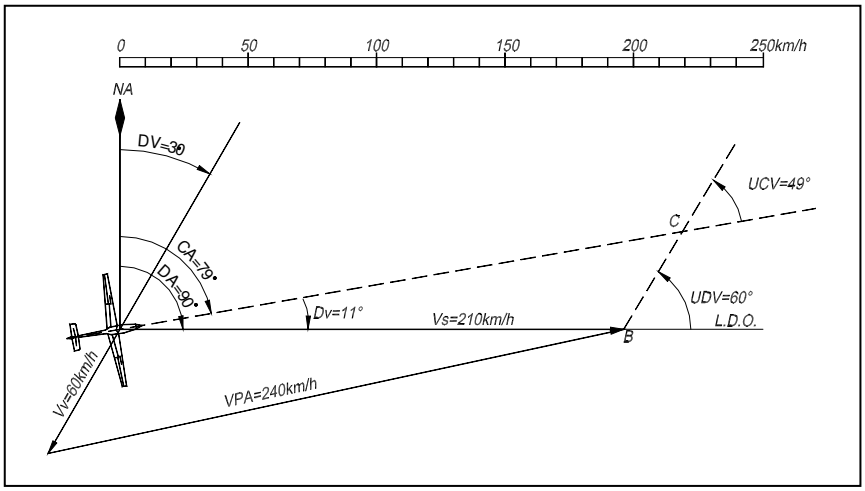


Fig. 7.25. Rezolvarea grafica a trunghiului de navigație al vitezelor

Unghiul format între linia drumului obligat şi direcția vântului se numeşte unghiul drumului cu vântului (UDV) (măsurat invers, devine UVD). El se măsoară pe ambele părți ale LDO de la 0^o la 180^o.

Unghiul format între axa longitudinală a avionului (partea din față) şi direcția vântului se numeşte unghiul capului cu vântul (UCV) (măsurată invers, devine UVC).

UVC va fi întotdeauna mai mic decât UVD cu valoarea derivei.

Exemplu:

DA = 90^o; Vv = 30^o /60 Km/h;

VPA = 240 Km/h

Rezolvând grafic (vezi Fig.N.7.25.), se obține:

Dv = 11^o; Vs = 220 Km/h;

CA = 79°; UVD = 60°;
UVC = 49° ;
Pentru rezolvarea grafică a triunghiului de navigație al vitezelor se poate proceda şi astfel :
În punctul "O" de pe LDO se aplică vectorul VPA şi Vv (vezi Fig. 7.26).
Construind paraleleogramul forțelor se obține componenta OB care reprezintă VS. Unghiul cuprins între VPA şi VS (Unghiul AOB) este deriva avionului şi trebuie măsurată cu raportorul.
Cunoscând drumul adevarat DA, se poate calcula capul adevarat CA cu ajutorul următoarei formule :
CA = DA - (± Dv)
Viteza la sol se obține măsurând pe scara grafică lungimea vectorului OB.

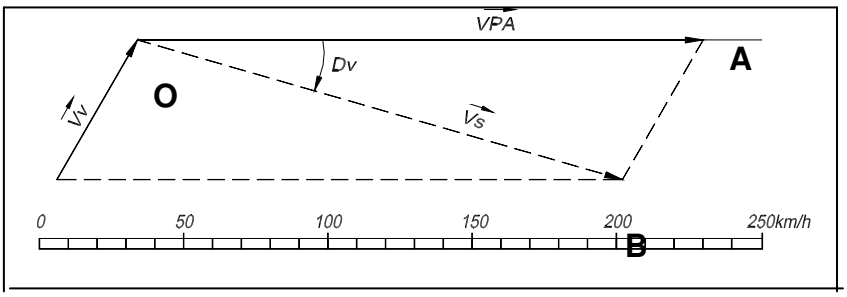


Fig. 7.26. Rezolvarea grafică a triunghiului de navigație al vitezelor

Pentru rezolvarea analitică a triunghiului de navigație al vitezelor se foloseşte Teorema sinusurilor într-un triunghi oarecare. (vezi Fig. 7.27.)

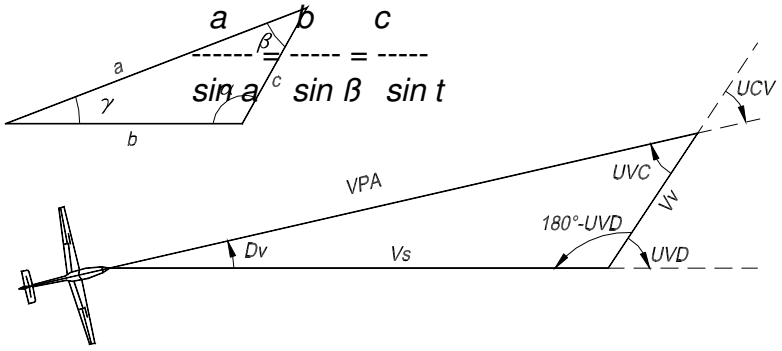


Fig. 7.27. Rezolvarea analitică a triunghiului de navigație al vitezelor

În relația de mai sus, cunoscând trei elemente, se poate determina cel de-al patrulea. Această relație se poate aplica şi la triunghiul de navigație al vitezelor. Sunt necesare 2 precizări :
- unghiul adiacent al lui UVD este 180°-UVD, iar sin (180 ° -UVD)= sin UVD;
- unghiul opus vectorului VS este UVC. Relația va deveni:

- $\frac{VPA}{sin(180^o\text{-}UVD)} = \frac{Vs}{sin\ UVC} = \frac{Vv}{sin\ Dv}$

Pentru exemplul din Fig.N.7.25, se obțin următoarele valori:
UVD = $90^o - 30^o = 60^o$

$\frac{240 Km/h}{sin\ (180^o\text{-}60^o)} = \frac{60\ Km/h}{sin\ Dv}$ sau $\frac{240}{sin\ 60^o} = \frac{60}{sin\ Dv}$ de unde:

sin Dv = 0,22, rezultă Dv = $12^o40'$.
Vs = 205,5 Km/h;
CA = DA - (Dv) = $90^o - 12^o = 78^o$.

Cunoscând capul adevărat, prin rezolvarea triunghiului de navigație al vitezelor se poate afla *capul compas*.

Cunoscând declinația magnetică (citită pe hartă) şi deviația compasului (citită la bordul aeronavei), capul compas se calculează după formula:

CC = CA - (± Dm) - (± Dc) - (± Dv)

8. Probleme de altimetrie

Aceste probleme se întâlnesc în navigația aeriană datorită deselor situații când va trebui să urcăm cu aeronava până la o anumită înălțime. În cadrul acestor zboruri vom întâlni următoarele definții pentru înălțimi:

Înălțimea absolută (H Abs) sau Altitudinea este distanța pe verticală măsurată de la nivelul mediu al mării până la punctul considerat unde se află aeronava.

Înălțimea relativă (H Rel) sau înălțimea, *este distanța pe verticală măsurată de la suprafața de referință a aerodromului până la punctul considerat pentru măsurarea înălțimii.*

Înălțimea nivelului 91 (2700m) sau nivelul de zbor (FL), este distanța pe verticală măsurată față de suprafața izobarică de 760 mm col.Hg sau 1013.25 mb (HPa).

Înălțimea reală sau adevărată (H real sau H adev) este distanța pe verticală măsurată dintre obstacolul survolat şi aeronavă. Datorită neregularităților terenului această înălțime este variabilă pe tot parcursul zborului.

Cota este înălțimea obstacolului măsurată față de nivelul mediu al mării.

În funcție de aceste înălțimi în timpul zborului, organele de trafic vor transmite la echipaje următoarele presiuni:
- QNH = presiunea redusă la nivelul mării;
- QFE = presiunea la nivelul pistei;
- QNE (Std) = presiunea de referintă de 760 mm col Hg sau 1013.25Mb (HPa).

Treapta barică este distanța pe verticală dintre 2 planuri a căror diferență de presiune este egală cu un mb (Hp).

1 hPa = 8.4 m;
1 mm col Hg = 11.2 m

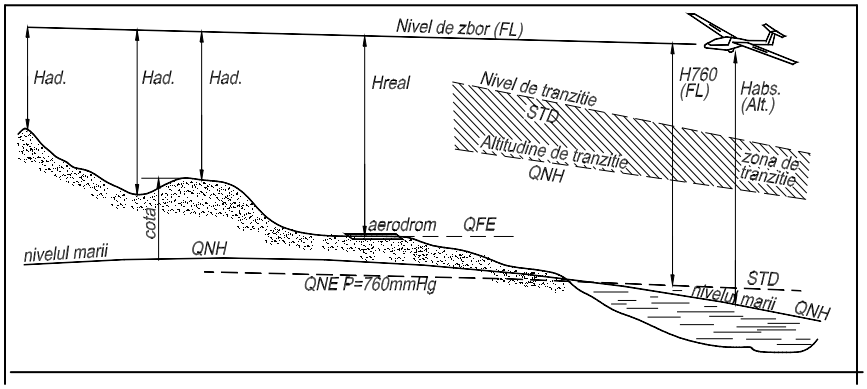


Fig. 8.28. Înălțimi în navigația aeriană

Astfel apar situații când în cadrul problemelor se cere să se execute calcule şi transformări din mmHg în mb (hPa) cât şi transformări în funcție de punctele de referință față de care se fac măsurătorile.

Exemplu : O aeronavă va decola de pe un aerodrom după QFE şi va trebui să urce până la un anumit nivel (FL) după Std. Cunoscând cota aerodromului şi presiunea se poate calcula ce spațiu pe verticală va avea de parcurs aeronava, deci timpul necesar şi respectiv consumul de combustibil (pentru avioane).

Zona de tranziție reprezintă suprafața din spațiul aerian pe verticală în cadrul căreia o aeronavă în urcare sau coborâre execută proceduri de calaj altimetric, trecând pe Std la urcare pentru intrare pe nivelul de zbor FL, sau trecând altimetrul pe QFE-ul aerodromului în situația executării procedurilor de aterizare.

8.1. Calajul altimetric

În situația zborurilor de deplasare de pe un aerodrom pe altul suntem nevoiți de multe ori să aterizăm pe cel de-al doilea şi altimetrul va arăta o anumită cifră (diferența de înălțime dintre cele 2 aerodroame).

Pentru a se putea executa în mod corect *elementele de apropiere pentru aterizare* (la înălțimile impuse de instrucțiunile de exploatare ale celui de-al doilea aerodrom), trebuie să executăm *calajul altimetrului*.

*Această operație are rolul de a aduce altimetrul în situația ca la aterizarea pe noul aerodrom să arate **"0"** m înălțime.*

Înainte de a decola de pe primul aerodrom, cerem de la organele de trafic sau de la meteo, presiunea din momentul respectiv la pragul pistei de decolare (QFE aerodrom decolare).

Pentru calaj în interiorul altimetrului este introdusă o scală barometrică. Aceasta este vizibilă printr-o fereastră a altimetrului şi este gradată în mm Hg sau mb.

Operatiunea de calaj (după QFE) se realizează astfel:

- se aduce înainte de decolare acul altimetrului la "0";

- se desface piulița de la butonul cu cremalieră, se trage butonul spre exterior şi se roteşte până când presiunea indicată în fereastră este cea dată de stația meteo sau organele de trafic de pe aerodrom. După acesata se împinge butonul şi se strânge piulița înapoi.

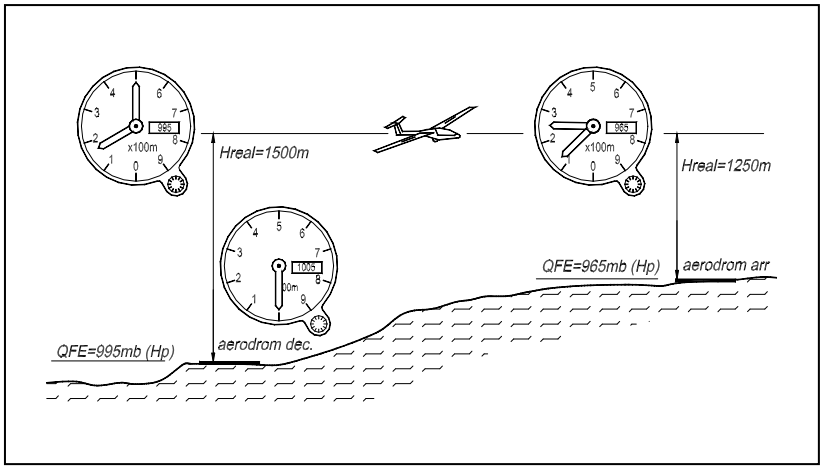


Fig. 8.29. Calajul altimertic

Cu aceasta se poate decola.

În timpul zborului va fi suficient să cerem presiunea de la pragul pistei de la cel de-al doilea aerodrom (aerodromul de aterizare), să rotim butonul fără să mai slăbim piulița până când în fereastră apare presiunea corespunzătoare celui de-al doilea aerodrom. În timpul rotirii se vor schimba atât indicațiile presiunii din fereastră cât şi indicațiile acelor altimetrului (indicațiile de înălțime).

Când am terminat operația de rotire a butonului (operația de calaj), acele altimetrului ne vor arăta la ce înălțime ne aflăm față de cel de-al doilea aerodrom.

În momentul când vom ateriza pe noul aerodrom, altimetrul va indica "0"m înălțime.

Executând calajul altimetrului, avem certitudinea că vom executa procedurile de apropiere pe noul aerodrom având înălțimile minime de siguranță la trecerea peste eventualele obstacole de pe lângă aerodrom.

9. Lucrul cu harta

În cadrul navigației la vedere o importanță deosebită o are cunoasterea în permanență a poziției aeronavei. Pentru aceasta un pilot va trebui să ştie să compare în permanență reperele de pe sol cu cele de pe hartă, să aleagă repere caracteristice pe sol, respectiv pe hartă, repere care se vor afla la o distanță de cca.15 min de zbor pentru a putea fi în permanență la vedere. În acest scop pilotul va trebui să se obişnuiască să aprecieze în zbor distanțele atât pe hartă cât şi pe teren, lucru care se realizează în urma antrenamentului în zonă.

Având distanțe cunoscute pe sol, în timpul zborului vom urmări cum se văd de la diferite înălțimi de zbor, pentru ca apoi să le putem compara cu distanțe necunoscute din teren. Totodată, prin antrenament vom învăța aprecierea acestor distanțe pe hartă.

Fiecare pilot planorist, în cadrul zborurilor de antrenament, va trasa pe hartă unele cercuri din 5 în 5 Km cu centrul în centrul aerodromului. Aceste cercuri ne vor ajuta la obişnuirea ochiului cu distanţele de pe sol. Trebuie menţionat că odată cu creşterea înălţimii, citirea hărţii se face mai greu datorită aplatisării formelor de relief iar unele detalii sau chiar repere dispar datorită micşorării vizibilităţii oblice.

În situaţia când se trece la zborul de distanţă se recomandă următoarele:

- orientarea hărţii în sensul deplasării;
- alegerea unor repere uşor de identificat. Se poate întâmpla ca unele repere de pe hartă să fi dispărut din teren şi să fi apărut altele noi;
- la începerea spiralării în căminul termic, alegerea de repere noi pe traseu, cât permite vizibilitatea, pentru a şti în ce parte să părăsim căminul termic;
- trebuie ţinut cont de faptul că aspectul general al zonei se modifică în funcţie de anotimp;
- după trasarea pe hartă a LDO, se calculează capul compas şi apoi se studiază reperele de pe stânga şi dreapta traseului, cât şi zonele favorabile apariţiei condiţiei termice.

10. Calcule mintale

De multe ori în timpul zborului, pentru a pierde cât mai puţin timp, în afară de *abace,* suntem nevoiţi să efectuăm şi unele *calcule mintale* care ne ajută la navigaţie.

Calculele mintale se referă la:

- aprecierea distanţelor pe hartă, lucru care se realizează prin antrenament, plecând de la unghiuri de 90^o-45^o şi ajungând la unghiuri de 5^o.
- determinarea timpului de zbor se face calculând cât parcurge planorul într-un minut şi apoi făcând raportul faţă de distanţa totală, aflăm cât timp vom zbura până la destinaţie.

CAPITOLUL IV
AERODINAMICĂ

1. Generalități

Aerodinamica este ştiința (ramură a mecanicii fluidelor) *care se ocupă cu studiul mişcării aerului* (şi în general al gazelor) *precum şi cu studiul mişcării corpurilor în aer* (sau în alte gaze).

Ca o consecință a apariției vehiculelor aeriene, au început să se dezvolte diferite ramuri ale aerodinamicii:

- *aerodinamica teoretică,* disciplină în cadrul căreia, cu ajutorul matematicii, tratează cele mai generale legi şi fenomene fizice aerodinamice;
- *aerodinamica experimentală* studiază fenomenele prin intermediul unor experiențe adaptate lor (cu precizarea că obținem acelaşi rezultat dacă deplasăm corpul față de fluid sau fluidul față de corp).
- *aerodinamica aplicată* foloseşte cunoştințele din celelalte două sectoare ale aerodinamicii, în construcțiile aeronautice.

2. Aerul şi calitățile sale

Zborul unei aeronave are loc în interiorul masei fluide care înconjoară întreaga suprafață a planetei noastre. Acest mediu numit *aer atmosferic* şi menținut în jurul Pământului datorită gravitației, reprezintă un amestec de gaze (vezi şi Cap. Meteo: 2.) în care plutesc o serie întreagă de particule materiale (de dimensiuni variabile şi în stări de agregare multiple).

Datorită distribuției parametrilor care o caracterizează din punct de vedere fizic:

- presiune,
- temperatură,
- umiditate,
- densitate,
- compresibilitate,
- vâscozitate,
- turbulență, etc., atmosfera apare ca un mediu cu structură diferită, atât pe orizontală cât şi pe verticală.

Dacă atmosfera şi proprietățile sale sunt studiate în amănunțime la capitolul de meteorologie, pentru buna înțelegere a celor ce vor urma, trebuie să facem următoarele precizări:

a. *compresibilitatea* este proprietatea gazelor de a-şi modifica volumul sub acțiunea forțelor exterioare, până la stabilirea unui echilibru între forțele ce iau naştere în gaz şi cele ce tind să-l comprime.

În cazul deplasării unei aeronave în atmosfera terestră, acest fenomen apare la viteze mari (peste 500 km/h) şi are consecințe deosebite.

Planoarele deplasându-se cu viteze de maxim 300-400 km/h, nu generează fenomenul de comprimare şi în consecință, pe întinsul acestui capitol, aerul atmosferic va fi considerat ca fiind un *fluid incompresibil*.

b. *efectele de frecare* există în mişcarea oricărui fluid compresibil sau incompresibil şi duc la două consecințe importante:

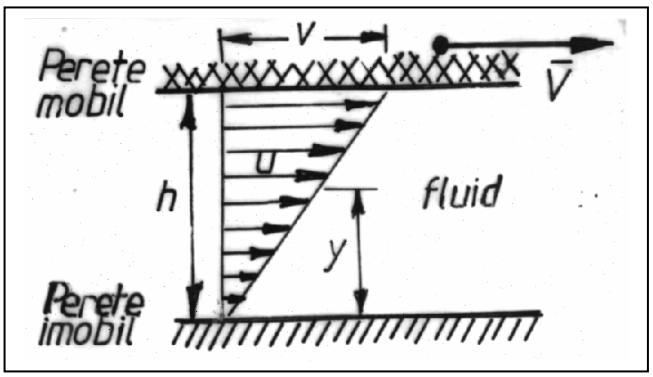


Fig. 2.1. Efectul frecării

- orice fluid aderă la suprafața unui corp solid cufundat în el sau la pereți, deci viteza *u* a fluidului la perete este egală cu viteza peretelui în mărime, direcție şi sens (vezi Fig. 2.1)

$$u = v \frac{y}{h} \qquad \text{(A.1)}$$

- în interiorul fluidului şi la contactul cu suprafețele solide, apar tensiuni de forfecare tangențiale:

$$\tau = \mu \qquad \text{(A.2)}$$

unde coeficientul de proporționalitate μ se numeşte *coeficient de vâscozitate*.

În practică se utilizează şi coeficientul de *vâscozitate cinematică:*

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \qquad \text{(A.3)}$$

unde ρ = densitatea fluidului.

De multe ori, cu o bună aproximație, pentru uşurarea înțelegerii unor fenomene, fluidele se consideră *ideale*, adică lipsite de frecare.

c. caracterul mişcării unui fluid poate fi *laminar* sau *turbulent*, în funcție de mărimea numărului Reynolds:

$$Re = \frac{\rho V l}{\mu} = \frac{V l}{\nu} \qquad \text{(A.4)}$$

unde V este o viteză caracteristică, iar "l" o lungime caracteristică.

În timp ce mişcarea laminară este caracterizată printr-un câmp continuu cu variații lente de viteze, presiuni, etc., mişcarea turbulentă prezintă fluctuații turbulente caracteristice şi este însoțită de o creştere substanțială a frecărilor aparente.

3. Tunelul aerodinamic

Tunelul aerodinamic este o instalație cu ajutorul căreia se pun în evidență şi se măsoară forțele ce iau naştere asupra unui corp ce se deplasează în aer, precum şi spectrele curgerii în jurul corpului.

În tunelul aerodinamic se foloseşte mişcarea aerului față de corpul studiat.

Tunelul aerodinamic poate fi:

- cu circuit închis;
- - cu circuit deschis.

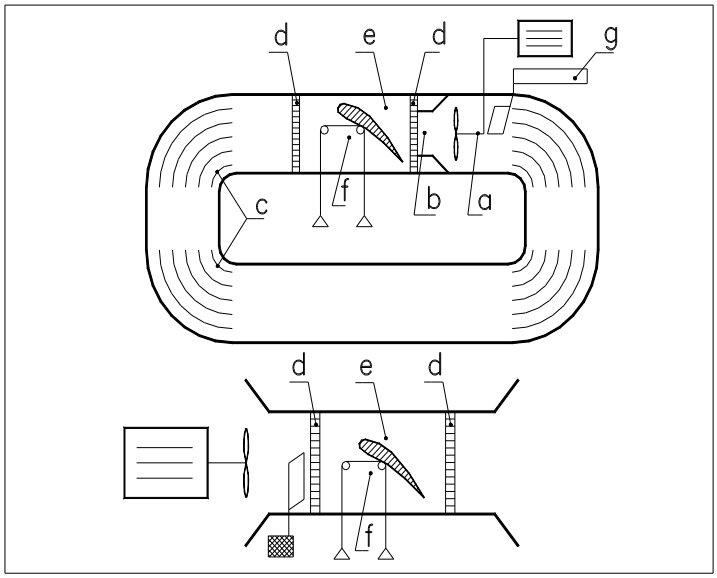


Fig. 3.2. Tunelul aerodinamic

Orice tunel aerodinamic se compune din:

a. instalație de pus aerul în mişcare;
b. tub ce dirijează aerul spre camera de experiență;
c. deflectoare pentru dirijarea paralelă a fileurilor de aer;
d. filtre de aer la intrarea şi ieşirea aerului din camera de experiență;
e. camera de experiență;
f. balanța aerodinamică;
g. instalație cu filtru pentru determinarea spectrului aerodinamic.

Prin *spectru aerodinamic* se înțelege traiectoria pe care o iau fileurile de aer în scurgerea lor în jurul unui corp.

Sufleria de spectre vizualizează fileurile de aer prin injectarea în spatele unui grătar, situat înaintea camerei de experiențe, a unui fum sau praf colorat.

Prin *scurgere permanentă* sau *staționară* a aerului se înțelege mişcarea la care presiunea, temperatura, densitatea şi viteza particulelor de aer, într-un anumit punct al curentului, rămân constante în timp.

Aceste mărimi pot avea şi alte valori în puncte diferite.

4. Ecuația continuitățiil

Să considerăm un fluid incompresibil (ρ = constant), care curge permanent printr-o conductă de secțiune variabilă, neglijând fenomenele de frecare (vezi Fig. 4.4.).

În condițiile de mai sus, conform legii conservării masei, masa de fluid care intră prin secțiunea S_1 în unitatea de timp este egală cu masa de fluid care iese prin secțiunea S_2 în unitatea de timp:

$m_1 = m_2$.

Dar $m_1 = \rho\, v_1\, S_1$ şi $m_2 = \rho\, v_2\, S_2$.

Înlocuind, vom obține: $\rho\, v_1\, S_1 = \rho\, v_2\, S_2$,

iar după simplificare rezultă:

$v_1\, S_1 = v_2\, S_2$, sau

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{S_2}{S_1} \qquad \text{(A.5)}$$

Această relație se numeşte *ecuația continuității* şi exprimă faptul că volumul de fluid care trece în condițiile date în unitatea de timp prin secțiuni diferite, este constant:

$S\, v$ = constant.

Deci, viteza de scurgere a fluidului este invers proporțională cu suprafața secțiunii.

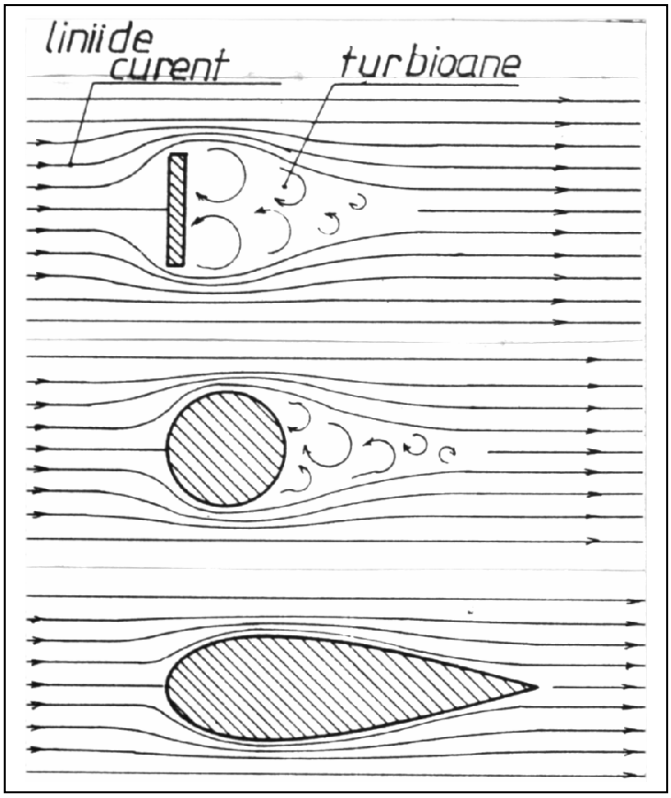


Fig. 3.3. Spectrul aerodinamic

5. Legea lui Bernoulli

Bernoulli (1700-1782) a stabilit relația de legătură dintre presiunea şi viteza unui fluid incompresibil, ideal (fără frecare), ce se scurge permanent, pornind de la ecuația de conservare a energiei.

Astfel, în condițiile amintite mai sus, suma dintre energiile cinetică şi potențială a masei de fluid rămâne constantă în orice secțiune a tubului de scurgere, dacă nu există pierderi de energie (vezi Fig. 5.5.).

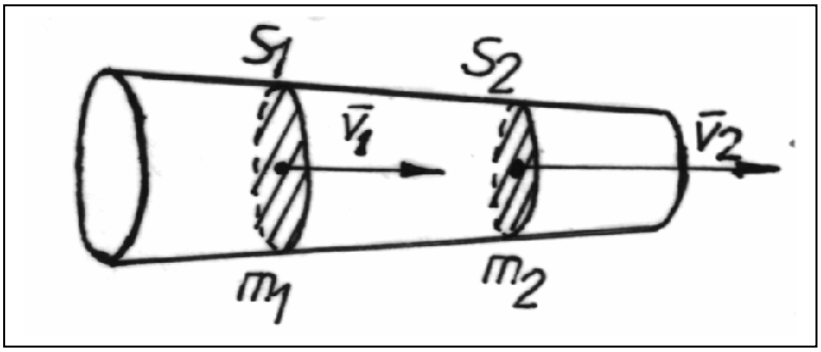


Fig. 4.4. Ecuația continuității

De aici rezultă, în urma unei scurte prelucrări matematice, că suma dintre *presiunea statică*, *presiunea dinamică* şi cea *hidrostatică* este o constantă (numită *presiune totală*) pentru fiecare secțiune:

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g h_1 = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g h_2 = constant = p_t$$

$$p_i + q_i + \rho g h_i = p_t \qquad \text{(A.6)}$$

unde:

- presiunea statică p_i = presiunea curentului de fluid asupra unei suprafețe orientată paralel cu mişcarea;
- presiunea dinamică q_i = presiunea curentului de fluid asupra unei suprafețe orientată perpendicular pe curent;

$$q_i = \frac{\rho v_i^2}{2} \qquad \text{(A.7)}$$

- presiunea hidrostatică ($\rho g h_i$) = presiunea datorată greutății coloanei de fluid;
- presiunea totală (p_t) = suma celorlalte presiuni şi este constantă.

Dacă $h_1 = h_2$, termenul $\rho g h$ se simplifică şi legea lui Bernoulli devine:

$$p_s + q = p_t , \qquad \text{(A.8)}$$

exprimând faptul că, în condițiile date, la o creştere a vitezei de curgere a fluidului într-o secțiune, corespunde o micşorare a presiunii statice în acea secțiune, şi invers.

Legea lui Bernoulli are numeroase aplicații practice, explicând diverse fenomene, ca de exemplu:
- atracția între două vapoare ce se deplasează paralel;
- funcționarea pulverizatorului;
- smulgerea acoperişurilor pe timpul furtunilor;
- măsurarea vitezei cu tubul Pitot (vezi Fig. 5.7.);

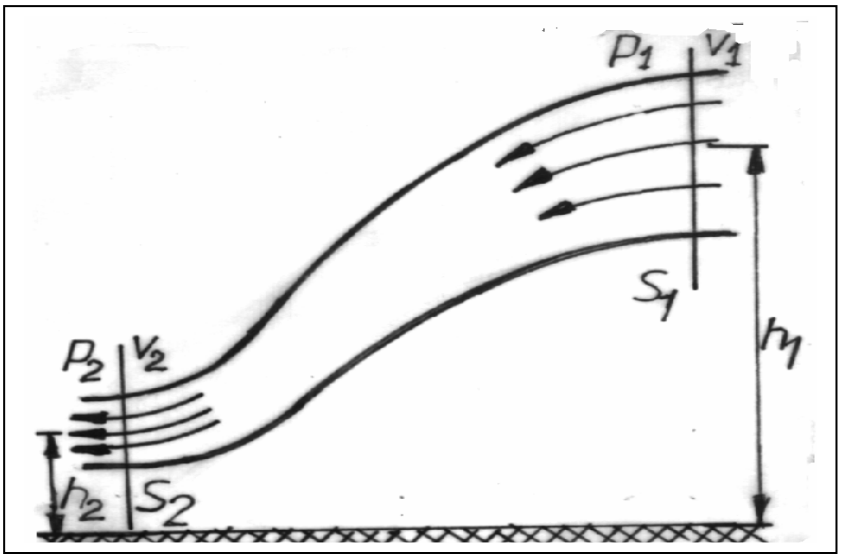


Fig. 5.5. Legea lui Bernoulli

Considerând două particule de fluid care plecă în acelaşi timp de la bordul de atac al profilului, datorită conservării masei (ecuația continuității), ele trebuie să ajungă în acelaşi timp la bordul de fugă.

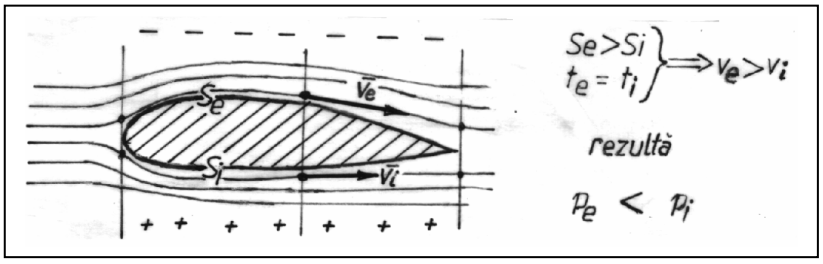


Fig. 5.6. Apariția forței portante

Datorită caracteristicilor geometrice ale profilelor aerodinamice, drumul pe care-l are de parcurs particula de pe extrados, este mai mare ca cel de pe intrados, de unde rezultă o viteză

mai mare pe extrados şi, conform legii lui Bernoulli, o presiune statică mai mică decât cea de pe intrados. Apare, astfel, o forță, orientată de jos în sus, proporțională cu diferența dintre presiuni.

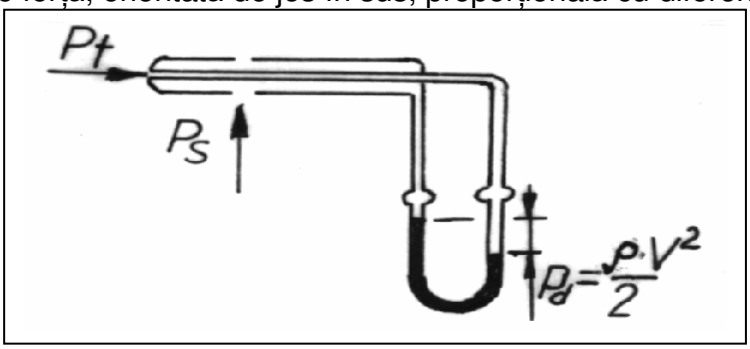


Fig. 5.7. Tubul Pittot

6. Rezistența la înaintare

Rezistența la înaintare este o forță ce se opune mişcării oricărui corp care se deplasează într-un fluid, deci şi în aer. În jurul acestuia apare o zonă de influență caracterizată printr-o modificare a presiunii aerului față de presiunea mediului înconjurător.

În fața corpului va apare o *creştere de presiune*, iar în spatele său, o *depresiune* (vezi Fig. 3.3. şi 6.8.).

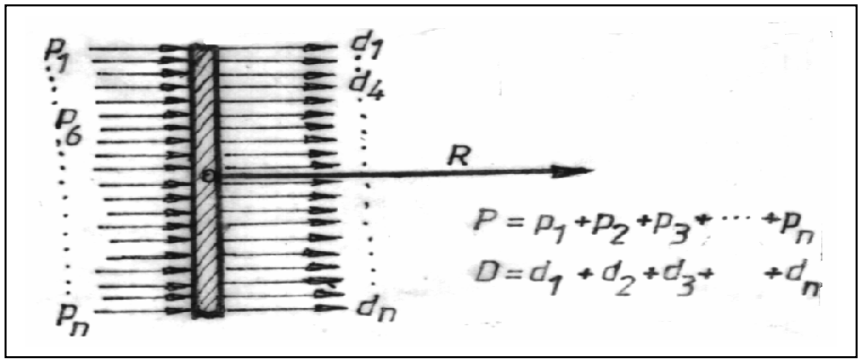


Fig. 6.8. Presiuni şi depresiuni

Presiunea ia naştere datorită ciocnirii moleculelor de aer cu suprafața frontală a corpului.

Depresiunea ia naştere datorită locului gol lăsat în urma sa de corpul în mişcare.

Dacă punem în tunel o placă perpendiculară pe direcția curentului de aer, aceasta va opune masei de aer o rezistență care se numeşte *rezistență de formă* şi se datorează diferenței de presiune din fața şi din spatele corpului (vezi Fig. 6.8.).

Valoarea acesteia depinde de forma corpului.

Dacă aşezăm placa paralel cu direcția curentului, vom observa că apare şi acum o rezistență (măsurată în tunel), numită *rezistență de frecare,* care este determinată de frecarea fileurilor de aer cu suprafața corpului.

Putem afirma deci că rezistența pe care o opune un corp aerului în mişcare este compusă din rezistența de formă şi cea de frecare şi poartă numele de *rezistență de profil*.

Continuând experiențele, prin modificarea, pe rând, a câte unui parametru:
- suprafața corpului;
- viteza fluidului;
- densitatea fluidului,
- forma corpului,

vom observa modul în care variază rezultatul măsurătorii forței rezistente (vezi Fig. 6.9.) şi vom putea trage următoarele concluzii:

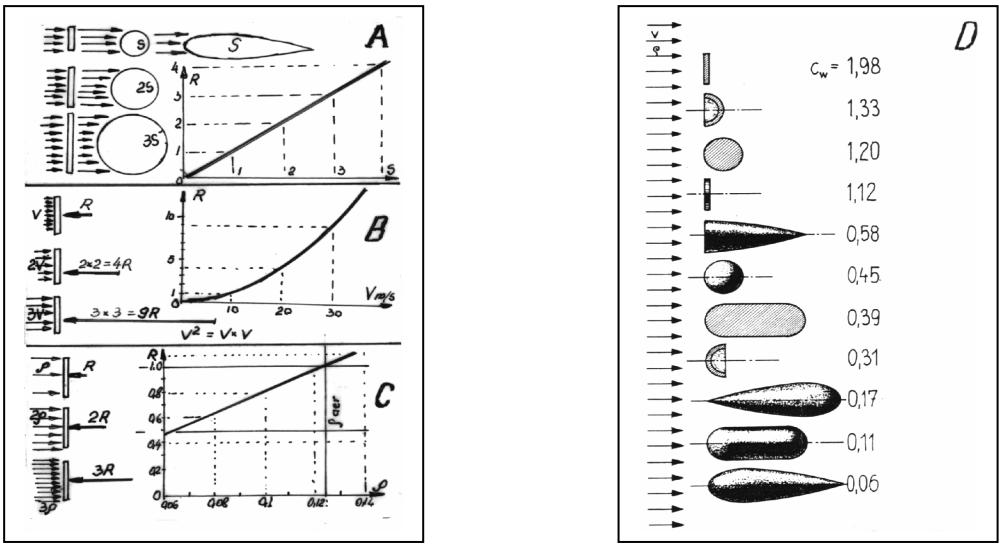


Fig. 6.9. Rezistența la înaintare

- rezistența la înaintare variază liniar cu suprafața ***S*** a corpului (vezi Fig. 6.9.A.);
- rezistența la înaintare variază parabolic cu viteza ***v*** a fluidului (vezi Fig. 6.9.B.);
- rezistența la înaintare variază liniar cu densitatea ρ (vezi Fig. 6.9.C.);
- rezistența la înaintare variază cu forma, starea suprafeței şi poziția corpului față de fileurile de aer, prin intermediul coeficientului adimensional C_x (vezi Fig. 6.9.D.). Astfel mărimea ***R*** a rezistenței aerului poate fi exprimată prin formula:

(A.9) $$R = \frac{1}{2} S v^2 C x \rho Kgf)$$

unde:
1/2 = coeficient de proporționalitate;
ρ = densitatea aerului în Kgf s^2/m^4;
v = viteza curentului (corpului) în m/s;
S = suprafața frontală (proiecția corpului pe un plan perpendicular pe direcția fileurilor de aer) în m^2
- în cazul corpurilor numite "de rezistență"

S = suprafața portantă (proiecția corpului pe un plan paralel cu direcția fileurilor de aer) în m^2 - în cazul corpurilor numite "portante"(aripi, ampenaje, etc.),
C_x = coeficient adimensional care caracterizează forma, starea suprafeței şi poziția corpului față de fileurile de aer.
Ecuația (A.9) mai poate avea forma:

(A.10) $$R = \frac{\rho v^2}{2} S c ,$$

punând în evidență termenul:

$$\frac{\rho v^2}{2} = \text{presiune dinamica}$$

7. Forța totală aerodinamică, portanța şi rezistenața la înaintare

Forța totală aerodinamică (notată ***F_t*** sau ***F_a***), care acționează asupra unui corp ce se deplasează în mediul aerian, reprezintă de fapt *rezistența* pe care o opune aerul în timpul mişcării corpului.

Aşezând în tunelul aerodinamic, placa folosită în experiențele anterioare, înclinat, cu un anumit unghi față de direcția fileurilor de aer, vom observa că apare o forță ce tinde să o deplaseze în sensul mişcării aerului şi în sus.

De asemenea, vom observa formarea unor zone de vârtejuri pe extradosul şi intradosul plăcii (vezi Fig. 7.10.).

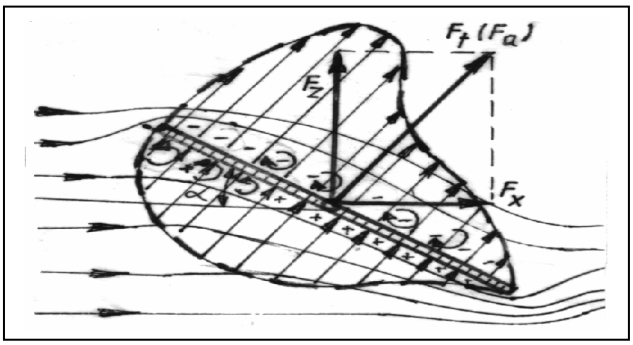


Fig. 7.10. Forțe pe plan înclinat

Din cele arătate până acum, putem trage următoarele concluzii:
a. forța totală aerodinamică ia naştere datorită:
- diferenței de presiune ce apare pe partea inferioară şi cea superioară a corpului, având ca rezultat o forță care tinde să ridice corpul;
- diferenței dintre presiunile ce apar pe partea anterioară şi pe partea posterioară corpului;
- frecării aerului cu suprafața corpului, având ca rezultat, împreună cu diferența de presiune de la punctul anterior, o forță

- care tinde să rotească placa, sau altfel spus să o încline, în sensul mişcării maselor de aer.

b. în mod analog cu rezistența la înaintare, forța totală aerodinamică este dată de relația:

$$F_a = \frac{\rho v^2}{2} S c_a \quad (Kgf) \qquad \text{(A.11)}$$

unde:

ρ, v, S au aceeaşi semnificație ca în paragraful precedent (formula A.10), iar C_a este un coeficient adimensional ce depinde de forma, starea suprafeței şi *unghiul de incidență* (vezi A.8.) al corpului numit *coeficientul forței totale aerodinamice.*

Uzual, din motive practice, $\boldsymbol{F_a}$ se descompune după două componente perpendiculare $\boldsymbol{F_x}$ şi $\boldsymbol{F_z}$ vezi Fig. A.7.10.), astfel încât:

$$F_a = \sqrt[2]{F_x^2 + F_z^2}, \; unde: \qquad \text{(A.12)}$$

- F_x = componenta paralelă cu direcția fileurilor de aer, numită *rezistența la înaintare*;
- F_z = componenta perpendiculară pe direcția fileurilor de aer, numită *portanță*.

Expresiile celor 2 componente sunt analoge cu expresia lui $\boldsymbol{F_a}$:

$$F_x = \frac{\rho v^2}{2} S c_x \quad (Kgf) \qquad \text{(A.13)}$$

$$F_z = \frac{\rho v^2}{2} S c_z \quad (Kgf), \qquad \text{(A.14)}$$

unde ρ, v, S au fost definite, iar:

- C_z = coeficient de portanță, adimensional;
- C_x = coeficient de rezistență la înaintare, adimensional.

Se poate deduce acum, că:

$$C_a = \sqrt{C_x^2 + C_z^2}. \qquad \text{(A.15)}$$

Mai observăm acum, că dacă acoperim zonele de turbulență situate deasupra şi dedesubtul plăcii, din tunelul aerodinamic, cu nişte suprafețe materiale, vom obține un corp de o formă specială al cărui studiu îl prezentăm în capitolul IV 8.

8. Profilul de aripă

Reprezintă o secțiune transversală printr-o aripă şi este un corp optimizat din punct de vedere aerodinamic, în sensul de a dezvolta o forță portantă cât mai mare şi o forță rezistentă la înaintare cât mai mică.

Elementele unui profil sunt următoarele (vezi Fig. 8.11.):

- *coarda profilului* ***c*** este linia ce uneşte cele două puncte extreme de pe profil (AB = *c*);
- *grosimea profilului* ***e*** reprezintă înălțimea maximă a profilului. Grosimea se măsoară perpendicular pe coardă;
- *grosimea relativă* $\boldsymbol{e_m/c}$ este raportul dintre grosimea maximă şi coardă;
- *bordul de atac* (A) este punctul cel mai din față al profilului. *Bordul de atac este punctul (linia) cu care o aripă loveşte în mişcare masele de aer*;
- *bordul de fugă* (B) este punctul cel mai din spate al profilului. Se mai numeşte *bord de scurgere* deoarece este locul prin care masele de aer părăsesc profilul. În aceast punct stratul limită de pe extrados se uneşte cu stratul limită de pe intrados (vezi 31.77.);
- prin *extrados* se înțelege partea superioară a profilului cuprinsă între bordul de atac şi cel de fugă;
- prin *intrados* se înțelege partea inferioară a profilului cuprinsă între bordul de atac şi cel de fugă;
- *linia mediană a profilului* **l** este linia care uneşte bordul de atac cu cel de fugă şi are proprietatea că orice punct al ei este egal depărtat de intrados şi extrados. Această linie se mai numeşte şi *scheletul profilului*.
- *săgeata* sau *curbura maximă a profilului* ***f*** este distanța maximă dintre linia mediană şi coardă;

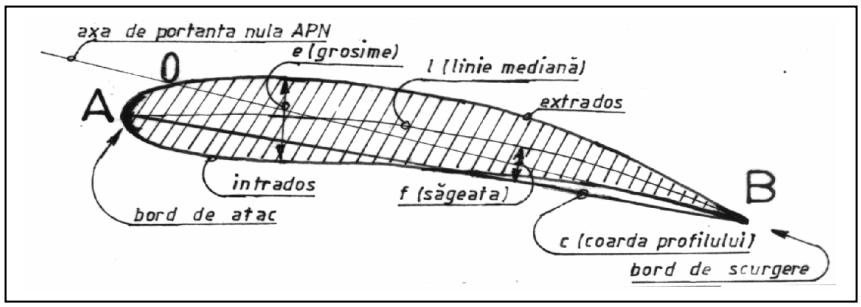


Fig. 8.11. Elementele profilului

- prin *curbura relativă a profilului (săgeată relativă)* **(*f*/*c*)** se înțelege raportul dintre săgeata maximă ***f*** şi coarda profilului ***c***;
- *axa de portanță nulă* (linia OB) reprezintă axa care atunci când este orientată după direcția curentului, pe profil nu apare forță portantă. La profilele asimetrice, axa de portanță nulă face cu coarda profilului un unghi de incidență α_{PN}. La profilele simetrice $\alpha = 0^o$

8.1. Tipuri de profile

Clasificarea profilelor se face după mai multe criterii dintre care cele mai importante sunt:

a. **constructiv**, profilele se împart în 2 categorii:

- profile *clasice* la care grosimea maximă se află la cca. 30% din coarda profilului;
- profile *laminare* la care grosimea maximă se află la cca. 40-70% din coarda profilului.

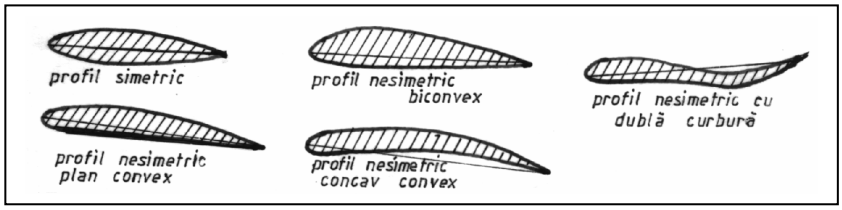


Fig. 8.12. Clasificarea profilelor după curbură

b. după **grosimea relativă**, profilele se împart în:
-profile *subțiri* (grosime mai mică de 8% din coardă);
- profile *mijlocii* (au o grosime între 8% şi 13% din coardă);
- profile *groase* (au o grosime mai mare de 13% din coardă).

c. după **curbură**, profilele se clasifică în (vezi Fig. 8.12.):
- profile *simetrice*;
- profile *nesimetrice*:
  - planconvexe;
  - biconvexe;
  - concav-convexe;
  - cu dublă curbură.

8.2. Unghiul de incidență

Unghiul format de direcția curentului de aer cu coarda profilului se numeşte unghi de incidență (unghi de atac).

Unghiul de incidență poate fi:

- *pozitiv* = unghiul cuprins între coarda profilului şi direcția curentului de aer ce atacă profilul pe intrados;
- *negativ* = unghiul cuprins între coarda profilului şi direcția curentului de aer ce atacă profilul pe extrados;
- *nul* = în cazul când curentul de aer loveşte profilul din față şi mişcarea corespunde, ca direcție, liniei ce reprezintă coarda profilului.

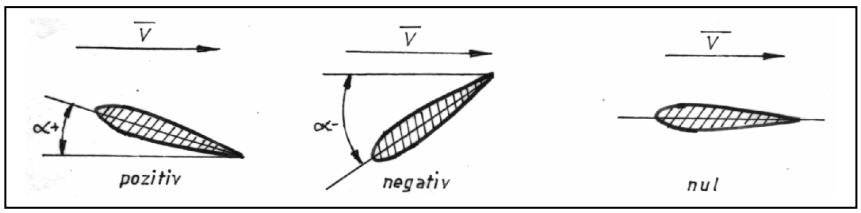


Fig. 8.13. Unghiuri de incidență

9. Aripa

9.1. Clasificarea aripilor după forma în plan

a. aripa dreptunghiulară;

b. aripa dreptunghiulară cu colțuri rotunjite;
c. aripa trapezoidală;
d. aripa trapezoidală cu colțuri rotunjite;
e. aripa eliptică;
f. aripa în săgeată, etc.(vezi Fig. A.9.14).

9.2. Caracteristicile geometrice ale aripii

a. *anvergura aripii* ***L*** reprezintă lungimea aripii de la un capăt la altul. În mod normal la planoare aceasta variază între 10-25 m;

b. *profunzimea aripii* ***c*** reprezintă lățimea aripii într-o anumită secțiune. Distingem:
- profunzimea aripii *în axul fuselajului* $\boldsymbol{c_i}$;
- profunzimea aripii *la capete* $\boldsymbol{c_c}$;
- profunzimea *medie* ***c*** (vezi Fig. 9.15.).

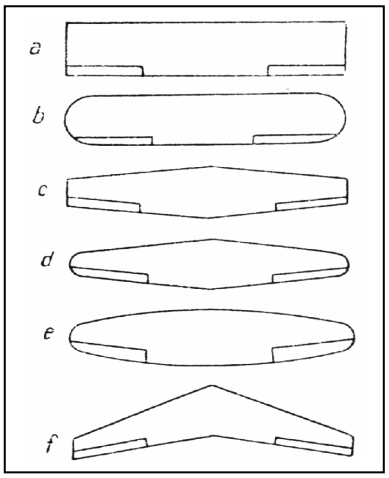


Fig. 9.14. Clasificarea aripilor după forma în plan

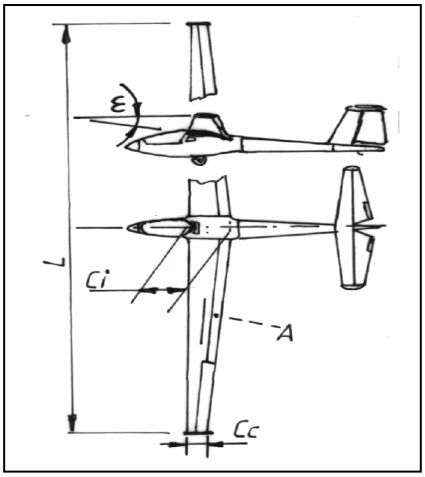


Fig. 9.15. Caracteristice geometrice ale aripii

$$c = \frac{c_i + c_c}{2} \quad sau \; c = \frac{A}{L},$$

unde A este suprafața aripii.

În mod normal, la planoare ***c*** variază între 0.5 şi 2 m.;

- *coarda medie aerodinamică* ***CMA*** reprezintă coarda unei aripi dreptunghiulare echivalente, care are aceeaşi suprafață şi anvergura cu aripa considerată.

c. *suprafața aripii* ***A***; se consideră făcând parte din ***A*** şi porțiunea de fuselaj cuprinsă între cele două planuri. În mod normal la planoare ***A*** variază între 8 şi 25 m^2;

d. *alungirea aripii* λ reprezintă raportul dintre anvergura aripii şi coarda medie pentru aripile trapezoidale şi dreptunghiulare,

$$\lambda = \frac{L}{c},$$

$$\lambda = \frac{L^2}{A}$$

sau raportul dintre pătratul anvergurii şi suprafaţa pentru o aripă oarecare:
λ este adimensional şi, în mod normal, la planoare, variază între 8 şi 35.

9.3. Unghiurile aripii

a. *Unghiul de calaj al aripii* φ reprezintă unghiul pe care-l face coarda profilului aripii la încastrarea în fuselaj cu axa de simetrie longitudinală a planorului (vezi Fig. 9.16);

b. *Unghiul de incidenţă* φ reprezintă unghiul pe care-l face coarda profilului cu direcţia curentului de aer ce atacă profilul pe intrados (vezi Fig. 9.16);

c. *Unghiul de torsiune al aripii* φ reprezintă unghiul dintre coarda profilului aripii la încastrare şi coarda profilului aripii la capetele sale (vezi Fig. 9.15.).

Această rotire a profilului se face în sensul micşorării incidenţei sale spre bordurile marginale;

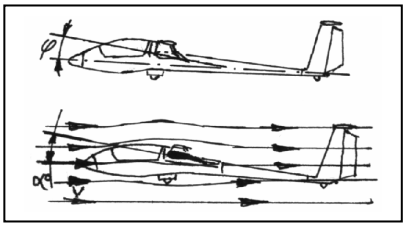


Fig. 9.16. Unghiurile aripii

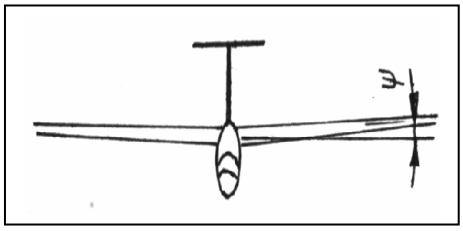


Fig. 9.17. Diedrul aripii

d. *Unghiul diedru al aripii* $\exists$ reprezintă unghiul format de orizontală cu linia mediană a aripii (vezi Fig. 9.17.).

e. *Unghiul de săgeată al aripii* χ reprezintă unghiul format de axa aripii cu axa transversală de simetrie a planorului. Unghiul de săgeată poate fi:
- pozitiv (vezi Fig. 9.18.);
- negativ (vezi Fig. 9.19.);

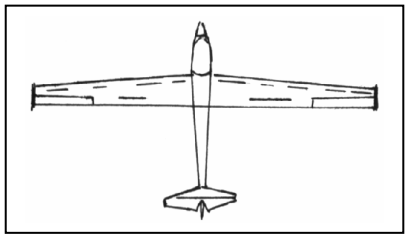


Fig. 9.8. Săgeată pozitivă

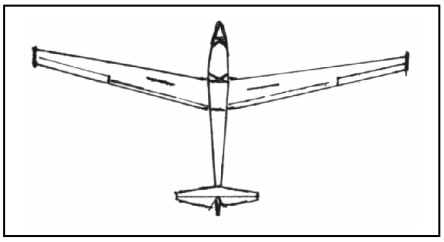


Fig. 9.19. Săgeată negativă

10. Repartiția presiunilor pe profil

În urma experiențelor efectuate în tunelul aerodinamic se observă că, la unghiuri de incidență nule, pe extrados cât şi pe intrados vor exista depresiuni care se vor anula. Neexistând în final forță portantă, asupra profilului va acționa doar forța de rezistență la înaintare (vezi Fig. 10.20.).

În zbor, la unghiuri de incidență mici (pentru planoare, unde vitezele sunt relativ mari), pe extrados şi intrados vor exista depresiuni şi, respectiv, presiuni care vor da, prin însumare, forța portantă, iar pe bordul de atac va acționa o presiune care constituie forța de rezistență la înaintare (vezi Fig. 10.21.).

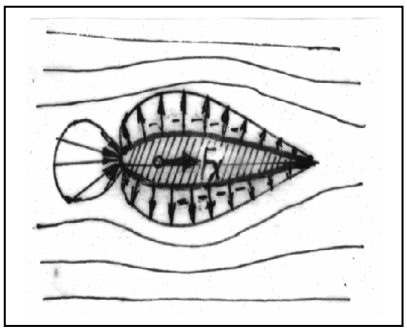


Fig. 10.21

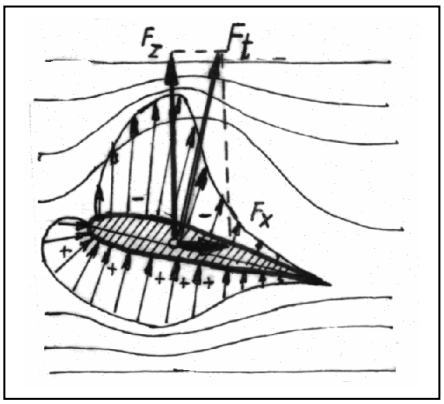


Fig. A.10.22 a

La unghiuri normale de incidență, pozitive, caracterul repartizării presiunilor pe profil este cel arătat în Fig. 10.22.

Observăm, în această situație, creşterea pronunțată a depresiunilor de pe extrados, fapt care duce la o *creştere accentuată a forței portante* $\boldsymbol{F_z}$

În timpul zborului, la unghiuri de incidență apropiate de cele critice, zona de depresiune va fi deplasată spre bordul de atac, iar pe intrados se observa o creştere a presiunilor. În această zonă forța portantă este apropiată de valoarea maximă (vezi Fig. 10.23.)

După depăşirea unghiului critic, zonele de presiune şi depresiune, se vor însuma, dând o forță de rezistență la înaintare mare şi o portantă mică.

Pe profilele cu dublă curbură repartiția presiunilor şi depresiunilor este deosebită, putând exista pe extrados atât presiuni, cât şi depresiuni (vezi Fig. 10.24.).
Profilele laminare prezintă repartiții de presiuni cu *valori maxime* reduse şi contururi aplatizate în comparație cu celelalte categorii.

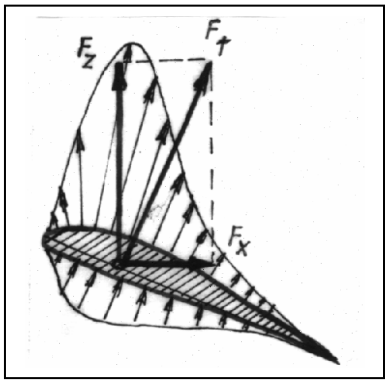


Fig. 10.22 b

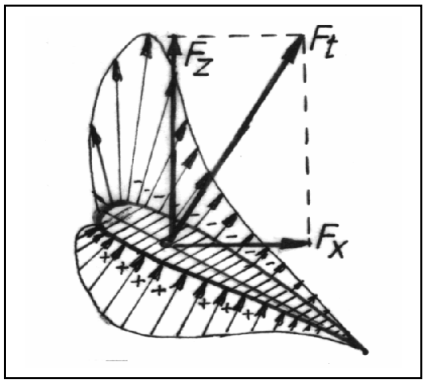


Fig. 10.23

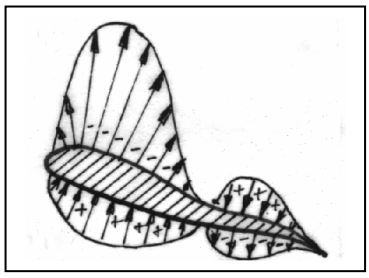


Fig. 10.24. Repartiția presiunilor pe profile cu dublă curbură

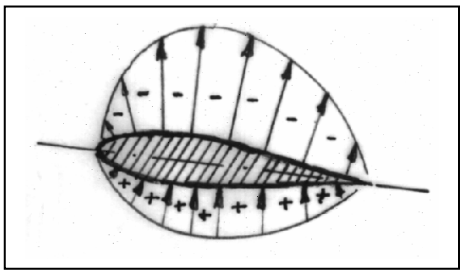


Fig. 10.25. Repartiția presiunilor pe profile laminare

10.1. Forțe şi momente

În timpul zborului, pe profilul aripii iau naştere următoarele forțe deja cunoscute şi momente aerodinamice:

$$F_a = \frac{\rho v^2}{2} S c_a \quad (Kgf)$$

formată din componentele:

$$F_x = \frac{\rho v^2}{2} S c_x \quad (Kgf) \qquad F_z = \frac{\rho v^2}{2} S c_z \quad (Kgf),$$

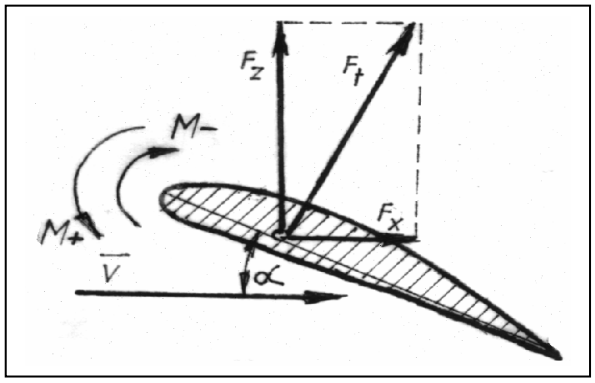


Fig. 10.26. Forțe şi momente pe profil

$F_x^2 + F_z^2 = F_a^2$, rezultă: $F_a = \sqrt{F_x^2 + F_z^2}$ *si*

M = momentul aripii față de bordul de atac;

(A.16)

(A.16) $M = \frac{\rho v^2}{2} S c c_m \ (Kgf)$

unde:
ρ, S şi v au aceeaşi semnificație ca în paragrafele anterioare;
c este coarda profilului în *m*;
C_m este un coeficient de moment (adimensional).

10.2. Centrul de presiune şi variația sa

Toate forțele care iau naştere pe profile se vor însuma într-un punct numit *centru de presiune*, dând naştere unei forțe rezultantă, numită forță aerodinamică totală $\boldsymbol{F_t}$ sau $\boldsymbol{F_a}$.

Centrul de presiune mai poate fi definit ca fiind punctul de intersecție al liniei de acțiune a forței aerodinamice totală, cu coarda profilului.

Să notăm faptul că variația centrului de presiune are o importanță deosebită la calculul de stabilitate al aeronavei, sau la cel legat de structura de rezistență a aripii. Forța aerodinamică totală $\boldsymbol{F_t}$ îşi va schimba punctul de aplicație funcție de unghiul de incidență. Această schimbare a poziției centrului de presiune se datorează faptului că presiunile de pe intrados şi depresiunile de pe extrados îşi vor schimba poziția funcție de unghiul de incidență.

Astfel, se observă că centrul de presiune se apropie de bordul de atac la unghiuri cuprinse între 20^o-15^o, iar la unghiuri cuprinse între 15^o-0^o se depărtează de bordul de atac pentru tipul de profil considerat.

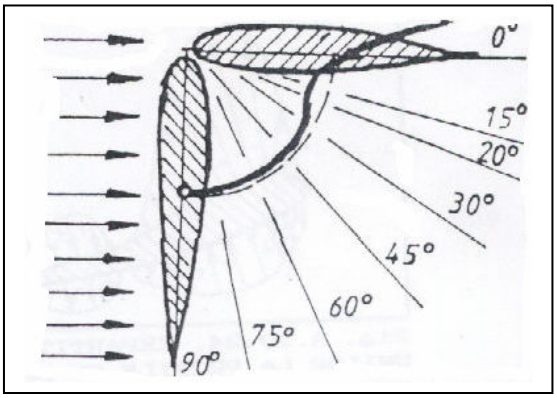


Fig. 10.27. Variația centrului de presiune

11. Rezistența indusă

În cadrul studiilor efectuate în tunelul aerodinamic, datorită condițiilor speciale de experiență, aripile cercetate pot fi considerate de anvergură infintă. În realitate însă, aripile au anvergura finită şi în acest caz, aerul va căuta să-şi echilibreze presiunea de pe intrados şi extrados pe la capătul aripii.. Acest lucru va crea o zonă turbionară care va duce la micşorarea forței portante şi, repectiv la creşterea rezistenței la înaintare.

Dacă studiem aerodinamic acest fenomen, vom vedea că particulele de aer, în curgerea lor, nu mai sunt paralele cu coarda profilului, ele fiind deviate pe extrados spre interior iar pe intrados, spre exterior.

Datorită acestui lucru, diferă viteza de deplasare a maselor de aer de pe intrados față de cele de pe extrados. Această diferență va duce la crearea unei zone turbionare la capătul aripii şi a unei pânze de vitejuri la borul ei de fugă (vezi Fig. 11.28.). Turbioanele sunt cu atât mai mari cu cât şi profunzimea aripii este mai mare.

În concluzie, putem spune că *rezistența indusă este forța care ia naştere pe aripă din tendința de egalizare a presiunilor de pe intrados şi a depresiunilor de pe extrados.*

În Fig. 11.28. putem observa cum, datorită turbulenței generate de tendința de egalizare a presiunilor pe profil, apare o viteză indusă ***w/2*** (ca o medie între viteza indusă în amonte de profil, ***w***=0, şi aval de profil, ***w=w***), care modifică viteza de cugere a aerului cu unghiul indus α_i, de la ***v*** la ***v'***.

Atunci şi F_z față de poziția neperturbată se înclină cu unghiul indus α_i (pentru a rămâne perpendiculară pe *v'*) devenind F_z'(vezi Fig. 11.29.).

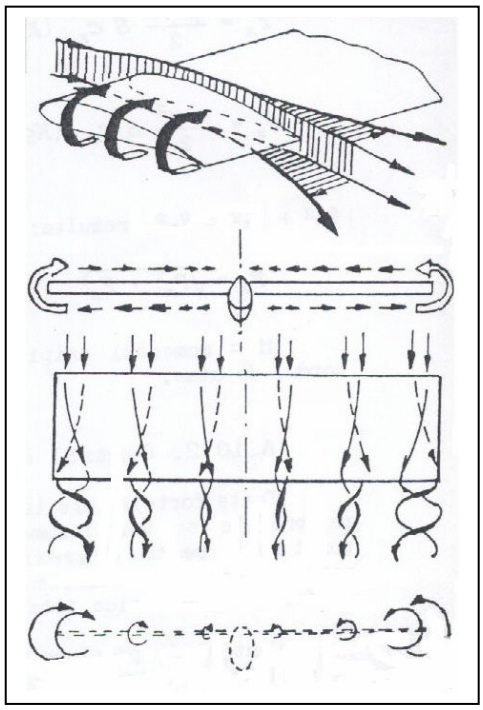


Fig. 11.28. Rezistența indusă

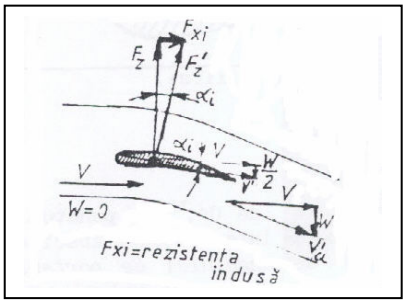


Fig. 11.29

Pentru a putea închide poligonul forțelor, rezultă ca necesară apariția forței F_{xi}, numită *rezistență indusă*, paralelă cu direcția curentului şi opusă sensului mişcării aripii.

Exprimată sub forma clasică:

(A.17) $$F_{xi} = \frac{\rho v^2}{2} S C_{xi} \quad (Kgf)$$

unde ρ, *S*, *v*, au semnificațiile cunocute, iar

(A.18) $$C_{xi} = \delta \frac{C_z^2}{\pi \lambda}$$

şi este un coeficient adimensional al rezistenței induse;
- δ = coeficient adimensional legat de forma în plan a aripii (pentru aripa eliptică, δ = 1);
- c_z = coeficient de portanță;
- π = factor de proporționalitate (π = 3.1416);
- λ = alungirea aripii.

11.1. Procedee de reducere a rezistenței induse

Din studiul lui C_{xi} rezultă imediat şi procedeele de reducere a rezistenței induse:

a. rezistența indusă va avea o valoare minimă în cazul când portanța va fi repartizată sub forma unei elipse, respectiv vom avea o aripă care are conturul sub formă de elipsă. Totuşi, în practică, acest lucru se realizează greoi şi din acest motiv se folosesc formele geometrice trapezoidale sau parțial trapezoidale, care au coeficienți δ apropiați (vezi Fig. 11.30.);

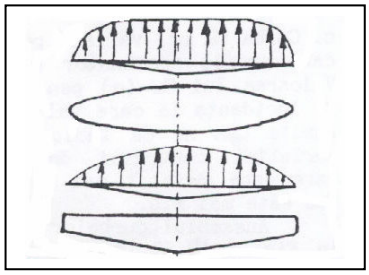


Fig. 11.30.

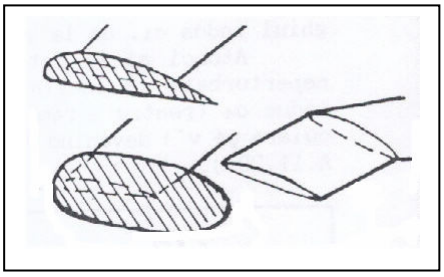


Fig. 11.31

b. termenul λ, găsindu-se la numitorul formulei lui C_{xi}, rezultă că, mărind alungirea aripii, se va micşora rezistența indusă;
c. la mărirea unghiului de incidență, creşte portanța prin C_z, creşte diferența de presiune pe profil şi corespunzător creşte rezistența indusă. Întrucât în planorism se zboară foarte mult în zona vitezelor de înfundare minime (vezi polara planorului), care corespunde zonei de portanță maximă, respectiv şi rezistența indusă mare, se foloseşte în practică metoda de micşorare din construcție a unghiului de incidență spre capătul aripii, procedeu numit *torsionare geometrică*, sau metoda schimbării profilelor aerodinamice spre capătul aripii cu unele mai puțin portante, procedeu numit *torsionare aerodinamică*. Ambele procedee atrag scăderea lui C_z, care este regăsit în numărătorul formulei lui C_{xi}, deci, implicit, reduc rezistența indusă.
d. Întrucât metoda măririi alungirii aripii este limitată din motive de ordin constructiv (structura de rezistență limitată), se foloseşte suplimentar pentru micşorarea rezistenței induse montarea bordurilor marginale la capetele aripii, frângerea în jos a aripii la capăt, etc., în scopul de a împiedica formarea turbioanelor marginale (vezi Fig. 11.31.).

12. Diagrama polară

Una dintre cele mai simple şi uzuale reprezentări grafice a coeficienților aerodinamici, C_x, C_z, C_m este în funcție de unghiul de incidență (vezi Fig. 12.32.).

2

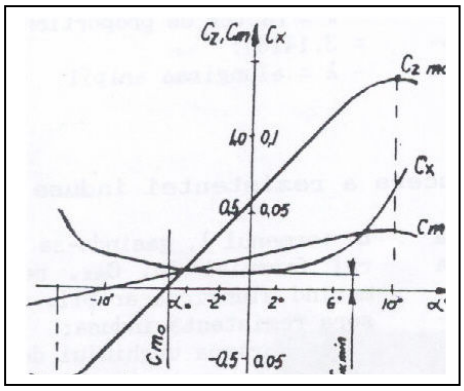


Fig. 12.32. Polara profilului

Studiind cu atenție astfel de curbe polare, putem realiza calitățile aerodinamice ale diferitelor profile:

a. curba $c_z(\alpha)$ variază liniar în zona incidentelor mici pozitive şi negative. La incidențe mari, în apropierea lui α_{critic}, alura curbei se modifică, indicând de obicei valori mai mici decât în cazul variației liniare. Acest lucrul se întâmplă datorită fenomenelor de desprindere a fileurilor de aer de pe profil înainte de angajare.

Punctul în care $c_z(\alpha)$ intersectează ordonata, corespunde coeficientului C_z la un unghi de i2ncidență de 0°, iar punctul în care $c_z(\alpha)$ intersectează abscisa, corespunde *unghiului de portanță nulă* α_o. Uzual, α_o are valori cuprinse între -2° şi - 6°.

Pentru un profil simetric, $C_z(\alpha)$ trece prin origine ($\alpha = 0$, rezultă $C_z = 0$) față de care va fi simetrică, spre deosebire de un profil asimetric unde $C_{z\,min+}$ este mai mare ca $C_{z\,min-}$.

b. Curba $C_x(\alpha)$ prezintă o variație aproximativ parabolică iar în zona incidențelor mici uneori poate fi considerată liniară. Punctul de intersecție al curbei cu axa ordonatelor corespunde valorii coeficientului C_x pentru incidența nulă. Pentru profilul simetric axa ordonatelor este axa de simetrie.

Având în vedere faptul că în zona incidențelor uzuale C_z este de 10-20 ori mai mare decât C_x, se obişnuieşte ca scara pentru coeficientul de rezistență să fie de 10 ori mai mare decât cea pentru coeficientul de portanță.

c. Curba $C_m(\alpha)$ variază pentru fiecare profil asemănător cu $c_z(\alpha)$. Valoarea lui $C_m(\alpha)$ pentru unghiul de incidență la care valoarea C_z=0, numită C_{mo} ne dă indicații asupra variației centrului de presiune, care este cu atât mai mică cu cât C_{mo} este mai mic.

Ansamblul curbelor prezentate în Fig. 12.32. poartă numele de *polară dezvoltată* şi stă la baza calculelor aerodinamice ale suprafețelor portante.

Toate informațiile necesare trasării curbei polare dezvoltate se obțin în tunelul aerodinamic, unde se introduce profilul de studiat şi cu ajutorul balanțelor aerodinamice se determină valorile coeficienților de moment, portanța şi rezistența la înaintare (C_m, C_z, C_x). Datele obținute sunt

prelucrate şi trecute într-un tabel din care putem extrage pentru fiecare unghi de incidență α, valorile perechi de C_m, C_z, C_x, care apoi sunt trecute pe diagramă (α pe abscisă şi C_m, C_z, C_x, pe ordonată).

α	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	8	12
C_z	8	18	28	38	47	55	62	70	80	90	100	110	130	136
C_x	16	14	12	10	9	10	11	13	15	18	21	25	38	100
C_m	12	15	18	20	22	24	27	30	33	36	39	42	48	46

Cu ajutorul aceluiaşi tabel se mai poate construi un alt set de două curbe, numit, *diagramă polară*, care constă tot dintr-un sistem de axe ortogonale cu C_x, C_m în abscisă şi C_z în ordonată, reprezentând variația lui C_z funcție de C_x şi C_m funcție de C_z (vezi Fig. A.12.34.).

La un studiu mai amănunțit al diagramei polare putem remarca următoarele:

- la intersecția axei absciselor cu C_z (C_x) se află punctul **1** corespunzător situației în care fileurile de aer atacă profilul aripii de-a lungul axei de portanță nulă **APN**, deci, forța portantă dezvoltată de aripă este nulă;
- punctul **2** de tangență la curba C_z (C_x) a perpendicularei pe axa absciselor ne dă valoarea lui $C_{x\,min}$;

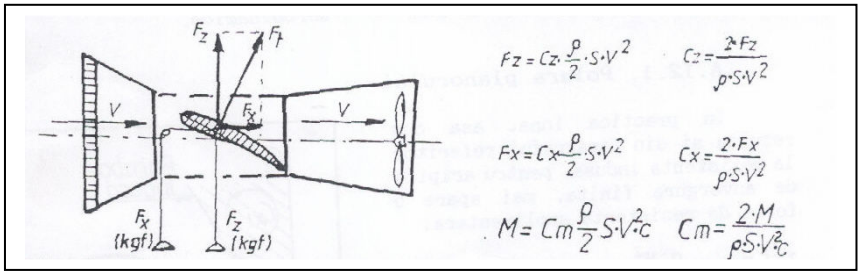


Fig. 12.33. Determinarea valorilor coeficienților aerodinamici

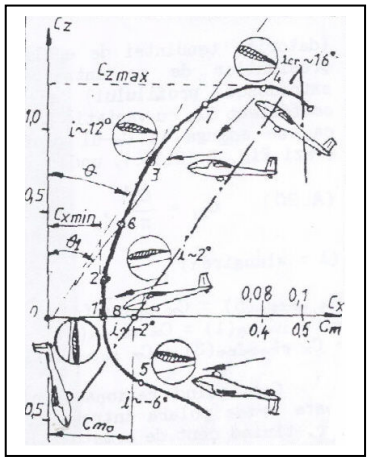


Fig. 12.34. Curba polară

- ducând din originea "**O**" a sistemului de coordonate o tangentă la curba $C_z(C_x)$, obținem punctul **3**, corespunzător unghiului **θ minim** şi deci raportului $C_z/C_x = km_{axim}$, raport care după cum vom vedea în capitolele următoare, poartă numele de *finețe aerodinamică*;
- punctul **4** este punctul de tangență la $C_z(C_x)$ a perpendicularei pe axa ordonatelor şi ne dă valoarea lui $C_{z\,maxim}$;
- punctul **5** corespunde zborului pe spate cu incidențe pronunțat negative;
- ducând un segment de dreaptă din originea sitemului de coordonate care intersectează $C_z(C_x)$ în punctele 6 şi 7, obținem două situații în care planorul evoluează cu aceeaşi finețe caracterizată de unghiul θ_1;
- punctul **8** de intersecție cu axa absciselor al curbei $C_m(C_z)$ corespunde coeficientului de moment la portanță nulă.

Trebuie specificat însă faptul că toate aceste determinări efectuate în tunelul aerodinamic, din motive de simplitate, s-au referit la aripi de anvergură infinită (porțiuni de aripă delimitată de pereți la bordurile marginale, a căror comportare aerodinamică este similară aripilor cu anvergură infinită), pentru care $C_x = C_{x\,profil} = C_{x\,forma} + C_{x\,frecare}$.

Rezultă deci, că din curbele diagramei se pot deduce cu uşurință toate caracteristicile profilelor aerodinamice.

12.1. Polara planorului

În practică însă, aşa cum rezultă şi din paragraful referitor la rezistența indusă, pentru aripile de anvergură finită, mai apare o forță de rezistență suplimentară:

$$F_{xi} = \frac{\rho v^2}{2} S C_{xi} \quad (Kgf), \qquad \text{(A.19)}$$

(datorită tendinței de egalizare a presiunilor de pe intradosul şi extradosul profilului) al cărei coeficient C_{xi} cu variație parabolică, se adaugă la C_x-ul profilului (vezi Fig. 12.35.), unde:

$$C_{xi} = \frac{C_z^2}{\pi\lambda}, \ (\lambda = \text{alungirea}) \qquad \text{(A.20)}$$

$C_{x\,aripa}(5) = C_{x\,profil}(4) + + C_{x\,indus}(1) = C_{x\,forma}(2) + + C_{x\,frecare}(3) + C_{x\,indus}(1)$.

Continuând raționamentul, se poate trasa polara întregului planor, ținând cont de următoarele:

- pe lângă aripă (elementul principal în crearea forței portante), orice planor mai are o serie de alte elemente, cum ar fi fuselajul, ampenajul vertical, trenul de aterizare, etc, care dau naştere numai rezistențelor numite *rezistențe pasive*:

$$F_{x\,pasiv} = \frac{\rho v^2}{2} a C_{x\,pasiv}, \qquad \text{(A.21)}$$

în Kgf, pentru fiecare element în parte, unde:
- *S, v,* au aceeaşi semnificație ca în paragrafele anterioare;

- *a,* este suprafața frontală a elementului considerat;
- $C_{x\ pasiv}$ este coeficientul rezistenței pasive.

Făcând operații matematice simple, putem defini un coeficient al rezistenței pasive total, rapotat la aripa planorului $\boldsymbol{C_{x\ pasiv}}$;

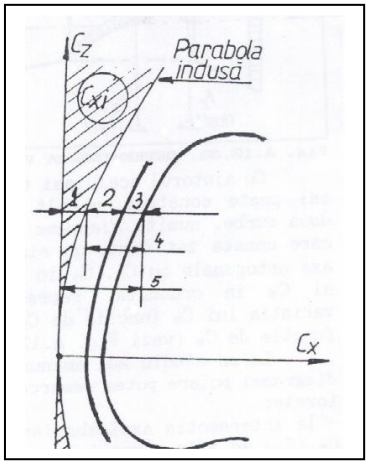


Fig. 12.35. Polara aripii

- s-a mai constatat că diferitele organe ale unui planor interacționează reciproc din punct de vedere aerodinamic, dând naştere la o aşa numită *rezistență de interferență* al cărei coeficient este $\boldsymbol{C_{x\ interferenta}}$.

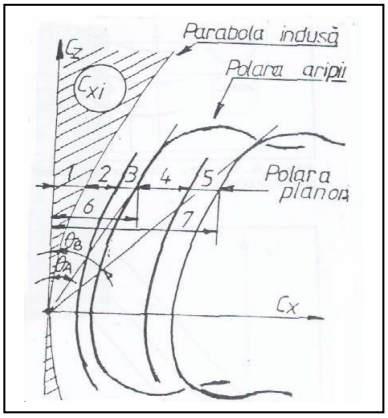


Fig. 12.37. Cz (α şi curbura)

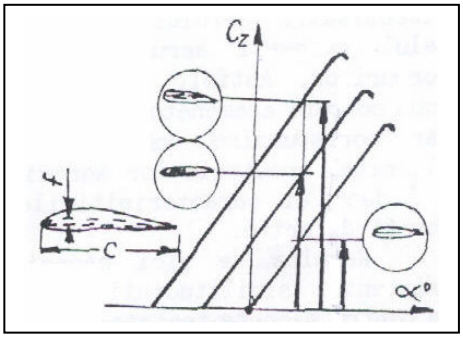


Fig. 12.36. Polara planorului

Ca ordin de mărime, rezistența de interferență reprezintă de obicei 10-20% din rezistența pasivă;

- valoarea lui $C_{z\ maxim}$ a planorului este foarte apropiată de $C_{z\ maxim}$ a aripii (vezi Fig. 12.36.)

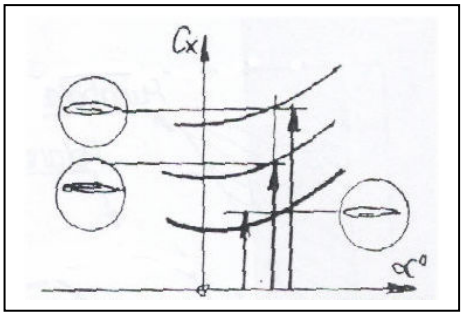
$C_{x\ planor}(7) = C_{x\ aripa}(6) + C_{x\ pasiv}(4) + C_{x\ inerferenta}(5) =$
$= C_{x\ indus}(1) + C_{x\ forma}(2) + C_{x\ frecare}(3) + C_{x\ pasiv}(4) + C_{x\ inerferenta}(5).$

Demnă de remarcat este *scăderea* considerabilă a *fineței* aerodinamice în cazul *planorului* în ansamblu *față de finețea* principalului său element portant, *aripa.*

12.2. Variația coeficienților aerodinamici

Performanțele unui planor depind esențial de caracteristicile aerodinamice ale profilului aripii.
La rândul lor, aceste caracteristici ale profilului sunt determinate de particularitățile lui geometrice, starea suprafeței aripii sau felul curgerii în stratul limită:
a. studiul variației coeficienților C_m, C_z, C_x, în funcție de unghiul de incidență a fost prezentat în paragraful anterior (Fig. 12.32.);
b. variația coeficienților C_m, C_z, C_x, în funcție de curbura profilului este redată în Fig. 12.37., A.12.38. şi A.12.39.. Se observă că, cu cât creşte curbura profilului:

- creşte C_z,C_x şi C_m;
- descreşte unghiul de incidență critică;
- variația centrului de presiune va fi mai mare.



2 Fig. 12.38. Cx (α şi curbura profilului)

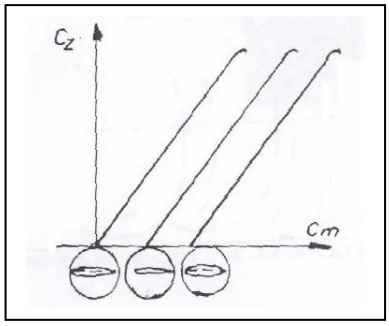


Fig. 12.39. Cm (curbura profilului)

c. variația coeficientului C_z şi C_x în funcție de grosimea relativă a profilului este prezentat în Fig. 12.40. şi 12.41.

Dacă coeficientul de rezistență creşte odată cu grosimea profilului, $C_{z\ maxim}$ este cel mai mare la profilele cu grosime relativă mijlocie, iar unghiul de incidență critică prezintă o uşoară creştere;

d. variația coeficientului de portanță funcție de numărul lui Reynolds este prezentată în Fig. 12.42. Cu cât creşte ***Re***, creşte C_{zmaxim} şi α_{critic}.

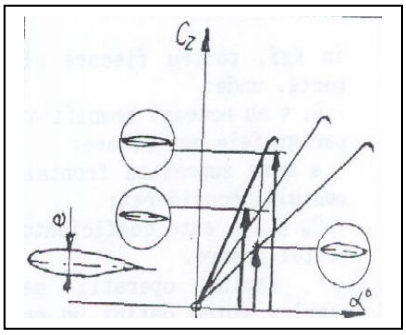


Fig. 12.40. Cz (α, θ relativ)

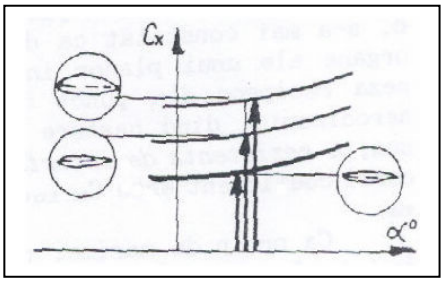


Fig. 12.41. Cx (α şi e relativ)

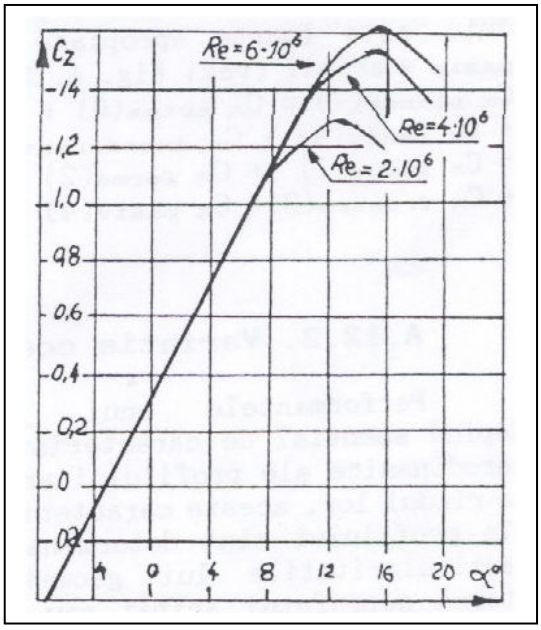


Fig. 12.42. Cz (nr. Re)

De menționat faptul că *Re* este parametrul care ține cont de efectul vâscozității aerului, determinând felul curgerii aerului în jurul corpurilor. Astfel, în situația a două corpuri asemănătoare geometric, dar corespunzând unor numere *Re* diferite, spectrele lor aerodinamice, deci şi caracterisiticile lor vor fi diferite.

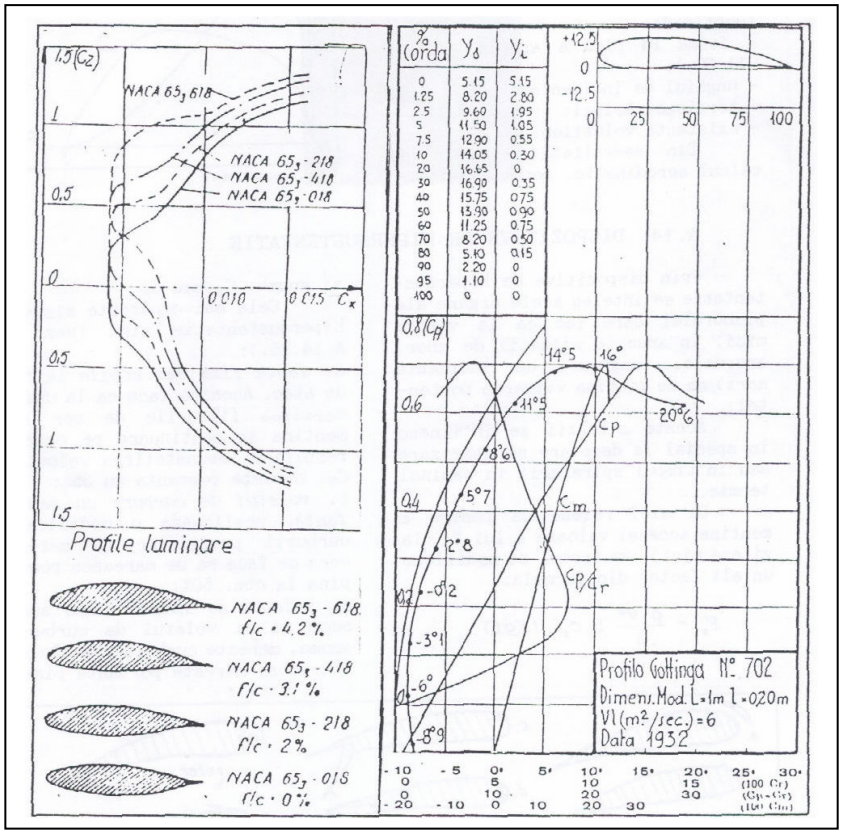


Fig. 12.43. Exemple de polare

Rezultă de aici necesitatea existenței similitudinii numerelor ***Re*** pentru macheta testată în tunelul aerodinamic şi planorul real; în caz contrar facându-se corectarea de rigoare a coeficienților determinați.

Numărul Re se poate determina cu o bună aproximație cu formula:

$$Re = \frac{\rho v l}{\mu} = \frac{v l}{\nu} \approx 71\, v\, l, \qquad \text{(A.22)}$$

unde: - *v* = viteza în m/s;

- *l* = o lungime caracteristică (coarda aripii sau lungimea fuselajului) în mm.

Exemplu:

Nr *Re* pentru un planor ce se deplasează cu 108 km/h (30 m/s) şi are CMA a aripii de 0.75 m (750 mm) este:

Re = 71 30 750 = 1.597.500.

Pentru planoarele moderne, *Re* variază în intervalul 500.000- 3.500.000.

e. coeficienții aerodinamici variază uneori semnificativ în funcție de familia din care fac parte profilele respective.

Spre exemplificare prezentăm caracteristicile câtorva profile extrase din cataloage de specialitate.

13. Repartiția portanței în profunzime şi anvergură

Este dată de repartiția rezultantei presiunilor de-a lungul corzii profilului şi anvergurii aripii.

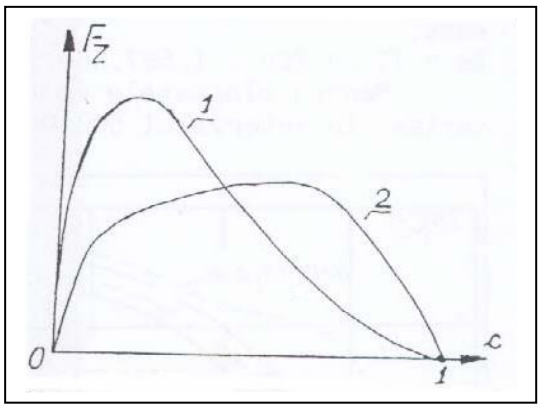


Fig. 13.44.

Repartiția portanței în profunzime este prezentată în Fig. 13.44., comparativ pentru un profil clasic (**1**) şi unul laminar (**2**), în domeniul incidențelor mici caracteristice zborului planat.

Repartiția portanței în anvergură, din cauza pierderilor marginale (fenomen studiat în paragraful A.11.), are mai mult sau mai puțin aspectul unei jumătăți de elipsă funcție de:
- forma în plan a aripii (Fig. 11.30.);
- unghiul de incidență;
- torsiunea aripii;
- existența voleților.

Din necesități practice de calcul aerodinamic, repartiția portanței în profunzime şi anvergură este aproximată cu un contur din linii drepte, conform regulamentelor de calcul ale planoarelor.

14. Dispozitive de hipersustentație

Prin dispozitive de hipersustentație se înțeleg acele organe ale planorului care fac ca la viteze mici, în anumite situații de zbor, anormale, (unghiuri de incidență mari) să se mențină valoarea portanței.

Aceste situații se întâlnesc în special la decolare şi aterizare sau în timpul spiralării în căminul termic.

De aici reiese că pentru a menține aceeaşi valoare a lui F_z (la viteze mici), va trebui să modificăm un alt factor din formula:

$$F_z = \frac{\rho v^2}{2} S c_z \quad (Kgf)$$

şi anume: C_z sau S.

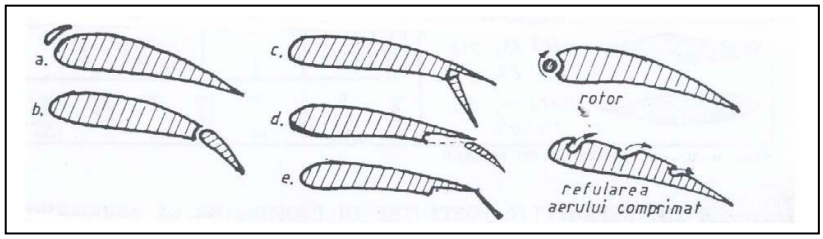


Fig. 14.45. Sisteme de hipersustentație

Cele mai cunoscute sisteme de hipersustentație sunt (vezi Fig. 14.45.):

a. *fanta fixă sau mobilă* la bordul de atac. Aceasta face ca la unghiuri $\alpha_{critice}$ fileurile de aer să se mențină în continuare pe extrados, rezultând îmbunătățirea valorii lui C_z. Măreşte portanța cu 35%;

b. *voletul de curbură cu sau fără fantă*, realizează o modificare a curburii profilelor (o măreşte), ceea ce face să se mărească portanța până la cca. 50%;

c. *voletul de intrados* are acelaşi scop ca şi voletul de curbură şi anume, măreşte curbura profilului pe intrados. Măreşte portanța până la cca. 70%;

d. *voletul Fowler* are rolul de a mări suprafața şi curbura aripii, fapt care detemină o creştere a forței portante cu până la 140%;

e. *voletul Zapp* este asemănător cu Voletul Fowler, adică măreşte suprafața aripii şi modifică curbura profilului prin rotirea cu aproape 180^o a unei porțiuni de pe intrados, rezultând creşterea portanței cu până la 80%.

Pentru a înțelege mai bine funcționarea dispozitivelor de hipersustentație, care la planoare, prin mărirea suprafeței aripii sau a curburii profilului (vezi paragraful 12.2.), asigură forța portantă necesară zborului, prezentăm în Fig. 14.46., modificarea polarei aripii sub influența voleților de cubură.

Trebuie avut în vedere faptul că toate aceste modificări ale lui C_z se vor face în anumite limite de viteze. Acestea se găsesc în notița tehnică a planorului şi toți piloții trebuie să le cunoască şi să le aplice pentru a evita depăşirea lui α_{critic} în zbor.

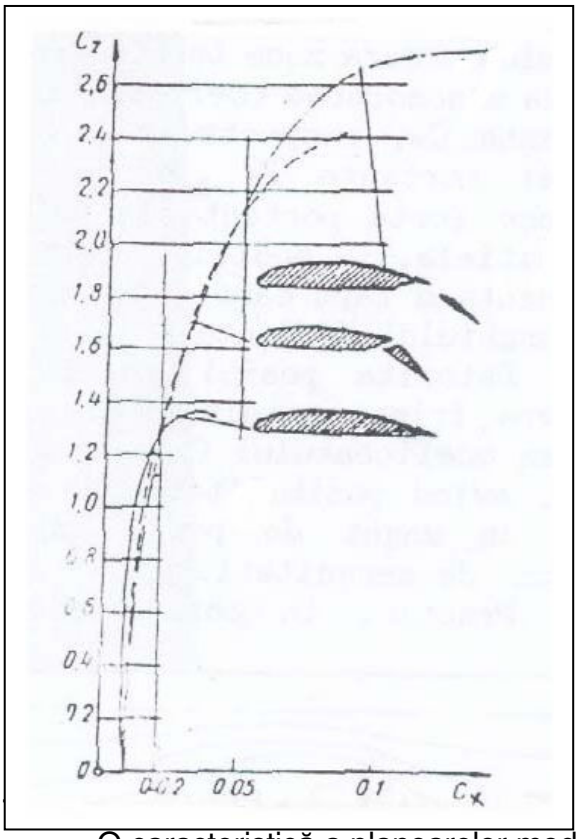


Fig..14.46.

O caracteristică a planoarelor moderne este *finețea aerodinamică* care ştim că este raportul dintre F_z şi F_x.

În construcția de planoare se tinde ca acest raport să fie cât mai mare, ceea ce în practică se traduce printr-un unghi de pantă cât mai mic.

Această calitate a planoarelor este indispensabilă în cadrul construcțiilor moderne pentru a se putea parcurge de la o anumită înălțime o distanță cât mai mare. Totuşi, datorită faptului că C_x este mic au apărut două aspecte negative şi anume:

- planorul poate căpăta în zborul în picaj o viteză care poate pune în pericol rezistența mecanică a părților componente;
- planorul are unghi de pantă mic, ceea ce face ca în cazul aprecierii prizei de aterizare (mai ales când terenul de aterizare este înconjurat de obstacole înalte), aceasta să nu se poată face corect, necesitând un teren foarte degajat şi lung.

Pentru a elimina aceste neajunsuri s-a recurs la dotarea, din construcție, a planoarelor cu frâne aerodinamice care au ca scop:

- planorul să nu depăşească viteza maximă în picaj cu frânele scoase,
- să poată fi scurtată şi corectată priza de aterizare.

Cu alte cuvinte se poate spune că frânele aerodinamice au rolul de a înrăutăți calitățile aerodinamice ale planorului.

Practic, aceste frâne aerodinamice nu sunt altceva decât nişte suprafețe ortogonale, care la comanda pilotului sunt scoase din aripă şi au ca efect creşterea coeficientului de rezistență la înaintare, C_x.

În acest mod, pentru primul caz, se obține o creştere a rezistenței la înaintare, fapt ce va face ca viteza să se oprescă la o valoare inferioară celei maxime.

În acelaşi timp, frânele aerodinamice crează zone turbionare care duc la micşorarea coeficientului de portanță C_z, respectiv micşoararea forței portante F_z. Pentru a se readuce forța portantă la valoarea ei inițială, se modifică unghiul de incidență α fapt care duce la mărirea unghiului de pantă.

Datorită posibilității de a manevra frâna aerodinamică, valoarea coeficentului C_z este variabilă, având posibilitatea de a obține un unghi de pantă variabil funcție de necesități.

Practic, în construcția de planoare se folosesc două tipuri de frâne: DFS şi Hutter (vezi Fig. 15.47).

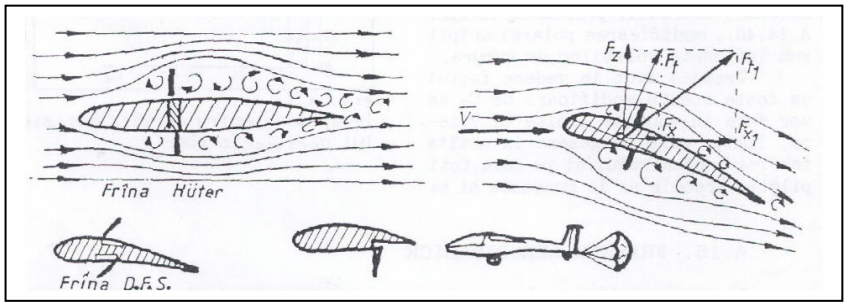


Fig. 15.47. Frâne aerodinamice

Notațiile folosite în figură sunt următoarele:
- F_x = rezistența la înaintare fără frână scoasă;
- F_{x1} = rezistența la înaintare cu frână scoasă;
- F_t = forța aerodinamică totală fără frână scoasă;
- F_{t1} = forța aerodinamică totală cu frână scoasă;
- C_z/C_x cu frâna scoasă este mai mic ca C_z/C_x fără frâna scoasă.

16. Forțe care acționează asupra planorului în zbor planat

Zborul planat al planorului este un zbor cu o pierdere permanentă de înălțime. Din acest motiv, zborul planorului poate fi considerat asemănător cu alunecarea unui corp mobil pe un plan înclinat (vezi Fig. 16.48.). Acest lucru se datorează faptului că pentru a asigura viteza necesară zborului, planorul se pune pe o pantă de coborâre astfel încât o componentă a greutății G_2 să constituie forța de tracțiune necesară, anulând rezistența la înaintare.

Pentru ca zborul să se execute uniform (viteza să fie constantă, trebuie ca unghiul de pantă sau unghiul de planare ***q***, să fie constant fapt care duce la următorul echilibru de forțe:

Pe de altă parte, unghiul ***j*** = ***q*** ca unghiuri cu laturile perpendiculare,

$$G_1 = F_z \quad F_z = \frac{\rho}{2} v^2 S C_z \quad G_1 = \cos\varphi \frac{\rho}{2} v^2 S C_z = G\cos\varphi$$

$$G_2 = F_x \quad F_x = \frac{\rho}{2} v^2 S C_x \quad G_2 = \sin\varphi \frac{\rho}{2} v^2 S C_x = G\sin\varphi$$

$$\tan\varphi = \frac{F_{x\,tot}}{F_{z\,tot}} = \frac{\frac{\rho}{2} S v^2 C_{x\,tot}}{\frac{\rho}{2} S v^2 C_{z\,tot}} = \frac{C_{x\,tot}}{C_{z\,tot}} = \frac{1}{K}, \text{ unde}$$

K *este fineţin planorului*

dar în triunghiul ABC:

$$\tan\theta = \frac{BC}{AB} = \frac{H}{S}$$

unde:
- *H* = înălțimea la care începe planarea;
- *S* = distanța parcursă la sol în timpul planării,

iar în triunghiul vitezelor:

$$tan\ \theta = \frac{w}{v_s} \approx \frac{w}{v},$$

(deoarece ***q*** este mic *v* » v_s)
unde:
- *w* = viteza ce coborâre citită de pilot la variometru;
- *v* = viteza citită de pilot la vitezometru şi transformată în m/s, considerându-se vântul nul.

În concluzie, putem scrie sub forma unui şir de rapoarte egale, următoarele:

$$tan\ \varphi = \frac{F_{x\,tot}}{F_{z\,tot}} = \frac{C_x}{C_z} = \frac{1}{K} = \frac{H}{S} = \frac{w}{v} = tan\ \theta$$

$$F_z = G_1 \frac{\rho v^2}{2} S C_z = G\, v \cos\theta = \sqrt{\frac{G}{S} \frac{2}{\rho} \frac{\cos\theta}{C_z}},$$

Din această relație se vede că *finețea planorului* (unghiul de planare) nu depinde decât de caracteristicile aerodinamice al planorului, deci de polara acestuia.

Să călculăm acum viteza de planare:
dar ținând cont de faptul că planoarele moderne au fineți ridicate (25-50), unghiul ***q*** va fi ma mic de 2° şi deci cu o aproximație foarte bună, putem considera *cos* ***q*** = 1.

În aceste condiții:

$$V = \sqrt{\frac{G}{S}\ \frac{2}{r}\ \frac{1}{C_z}},$$

de unde rezultă că în situația când, în cadrul zborurilor de performanță, se urmăreşte să se obțină o finețe maximă cu o viteză de deplasare cât mai mare, se va căuta să se modifice greutatea planorului.

Acest lucru este posibil prin luarea de *balast* de apă în planor. În felul acesta vom mări greutatea planorului şi respectiv la aceeaşi pantă se va mări viteza de zbor, deci vom parcurge aceeaşi distanță într-un timp mai mic. Totodată, studiind relația:

$$w_{cob} = \frac{1}{3,6}\ \frac{V}{K},\ (m/s)$$

observăm că mărind viteza de zbor (datorită balastului), se va mări şi viteza descendentă.

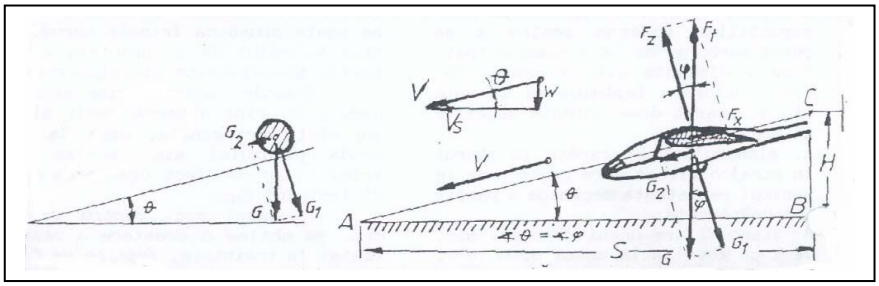


Fig. 16.48. Echilibrul forțelor în zborul planat

Balastul de apă poate fi luat numai de planoarele care au din construcție montate în aripi sau în fuselaj rezervoare de apă. Aceste rezervoare sunt construite cu posibilitatea de a putea fi golite de către pilot în zbor în cazul când situația meteo este slabă, sau când execută aterizarea.

17. Forțele care acționează asupra planorului în viraj

Virajul este o schimbare de direcție în plan orizontal, pe o traiectorie curbă.

Din punct de vedere al execuției virajele pot fi:

- corecte;
- derapate (aruncate);
- glisate (alunecate).

Virajul corect (vezi Fig. 17.49), este virajul în care avem următorul echilibru de forțe:

$F_{zv} = F_r$, sau, pe componente:

$F_{zo} = G$

$F_{cf} = F_{cp}$, unde:

F_{zo} = forța portantă în zbor orizontal;

F_{zv} = forța portantă în viraj;

F_{cf} = forța centrifugă;
F_{cp} = forța centripetă.
F_r = rezultanta între G şi F_{cf}.

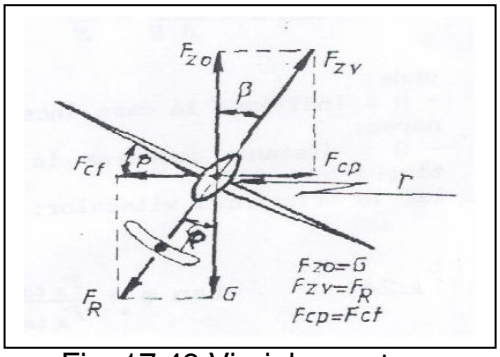


Fig. 17.49 Virajul corect

$$F_{cf} = \frac{G}{g}\frac{v^2}{r};$$

$$dar: \frac{G}{g} = m, \text{ de unde rezulta}$$

$$ca: \quad F_{cf} = \frac{m\ v^2}{r}, \text{ unde:}$$

r este raza de viraj.

Deci putem spune că forța centrifugă este direct proporțională cu greutatea aeronavei, cu pătratul vitezei şi invers proporțională cu raza de viraj.

Să calculăm care este forța portantă necesară şi viteza planorului în virajul corect:

$$F_{zv} = \frac{\rho\ v_v^2}{2} S\ C_{zv}$$

$$F_r = \frac{G}{\cos \beta} \quad dar\ F_{zv} = F_r, \quad F_{zv} = F_r = \frac{G}{\cos \beta}\ (1)$$

$$-\frac{\rho\ v_v 2}{2} S\ C_{zv} = \frac{G}{\cos \beta}\ (2)$$